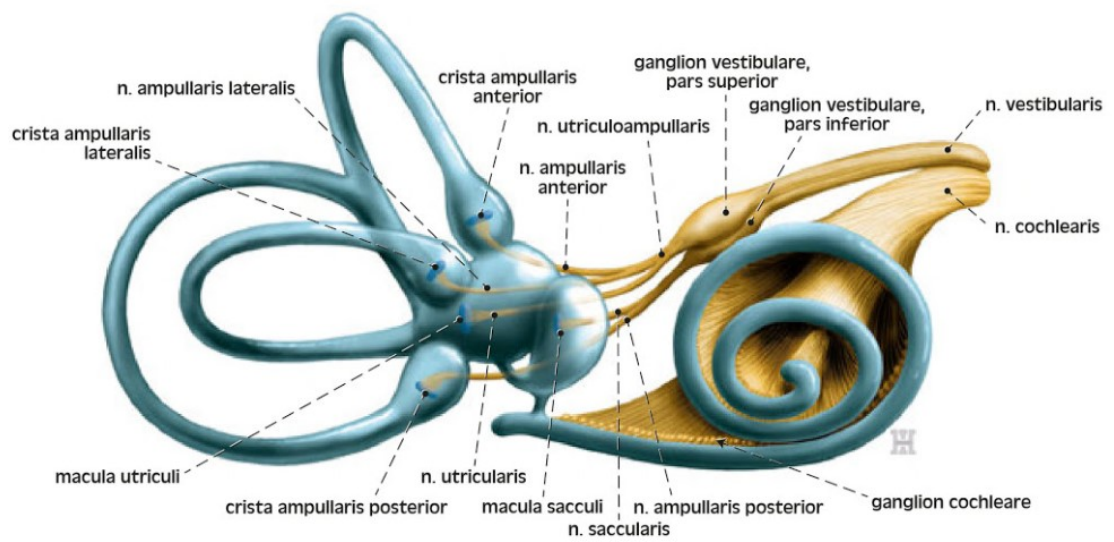


Pokročilé využití dat z vyšetření video Head Impulse Test a VEMP

Advanced use of Data of Video Head Impulse Test
and VEMP



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Franec**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství
Téma: **Pokročilé využití dat z vyšetření video Head Impulse Test a VEMP**
Advanced use of Data of Video Head Impulse Test and VEMP
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s vyšetřovací metodou video Head Impulse Test a VEMP.
2. Seznámení se s softwarem OTOsuite® Vestibular.
3. Popis struktury dat získávaných metodou video Head Impulse Test a VEMP.
4. Rozbor požadavků klinické praxe na rozšíření analýzy standardního vyšetření o další funkce.
5. Zdůvodnění přínosu rozšířené analýzy dat pro klinickou praxi.
6. Realizace navrženého rozšíření analýzy dat a popis řešení.
7. Provedení měření a testů na klinických datech.
8. Vyhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MRÁZKOVÁ, Eva. *Základy audiologie a metod objektivního vyšetření sluchu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. 111 s. ISBN 80-248-1129-4.
- [2] AMBLER, Zdeněk a Jaroslav JERÁBEK. *Diferenciální diagnóza závratí*. Praha: Triton, 2008. 229 s. ISBN 978-80-7387-127-7.
- [3] BALOH, Robert W. a Michael G. HALMAGYI. *Disorders of the Vestibular System*. Oxford: Oxford University Press, 1996. 687 s. ISBN 0195090063.
- [4] OLEHLA, Miroslav a František DUŠEK. *Metody zpracování dat - MATLAB*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-80-7372-952-3.
- [5] SHARP, John. *Microsoft Visual C# 2010: krok za krokem*. Přeložil Lukáš KREJČÍ. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-3147-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Jindřich Černohorský, CSc.**

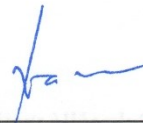
Konzultant diplomové práce: MUDr. Eva Mrázková, Ph.D.

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne: 30. dubna 2018

.....*Daniel Franc*.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, doc. RNDr. Jindřichu Černohorskému, CSc., za jeho odborný dohled a koordinaci této publikace. Mé poděkování patří také MUDr. Evě Mrázkové, Ph.D. a MUDr. Evaldu Záthureckému za možnost spolupracovat s Centrem pro poruchy sluchu a rovnováhy v Ostravě-Porubě, jejich vstřícný přístup a ochotu při tvorbě systému odborné lékařské terminologie, která je součástí této práce. Dále děkuji Bc. Lukáši Zátopkovi za pomoc a cenné rady při návrhu databáze a Mgr. Jakubu Šichnárkovi za generování dat přístrojovou technikou jednotlivých vyšetření.

Abstrakt

Inovativní metody video Head Impulse Test (vHIT) a vestibulární evokované myogenní potenciály (VEMP) patří mezi nejpokročilejší diagnostické nástroje, zabývající se stavem rovnovážného aparátu. Jejich kombinací lze vyšetřit funkci vestibulárního nervu, jelikož umožňují detekovat deficit všech rovnovážných orgánů a vláken, které zajišťují jejich inervaci. V případě kooperace s vyšetřením kmenových evokovaných potenciálů (ABR), sloužícím k testování funkce sluchového nervu a hlemýždě, lze diagnostikovat stav celého sluchově rovnovážného nervu. Předmětem této diplomové práce je návrh softwaru, jenž umožňuje sloučení výsledků všech tří zmíněných typů vyšetření vnitřního ucha do jednoho celku, a jehož algoritmus je schopný z těchto dostupných dat objektivní interpretace stavu inervační struktury vnitřního ucha. Za tímto účelem byl vytvořen systém odborné lékařské terminologie k interpretaci diagnóz vnitřního ucha na základě klinicky možných kombinací výsledků těchto tří vyšetření. Lékař tak má k dispozici údaje, které jsou zásadním diagnostickým nástrojem pro definici velkého množství vestibulárních a sluchových poruch či odlišení periferní a centrální povahy onemocnění. Software, vyvinutý v programovacím jazyce C#, by měl přispět k dalšímu zkvalitnění lékařské péče ve specializovaných centrech pro poruchy sluchu a rovnováhy, využívající k vyšetření tří zmínovaných metod přístrojovou techniku společnosti GN Otometrics®.

Klíčová slova: vHIT, cVEMP, oVEMP, ABR, sluchově rovnovážný nerv, software, C#

Abstract

The innovative methods video Head Impulse Test (vHIT) and vestibular evoked myogenic potentials (VEMP) belong among the most advanced diagnostic tools, dealing with the state of the balance system. Their combination can be examined for function of the vestibular nerve, since they allow to detect deficits of all balance organs and fibers, that ensure their innervation. In case of cooperation with auditory brainstem response (ABR), used to testing function of the cochlear nerve and the cochlea, it is possible to diagnose the state of the whole vestibulocochlear nerve. The aim of this thesis is design of a software, that allows to connect the results of all three types of inner ear tests to one file, and whose algorithm is capable to objective interpreting the state of the inner ear innervation structure from these available data. For this purpose a system of specialist medical terminology to interpret inner ear diagnoses was created, based on clinically possible combinations of the results of these three tests. Thanks to this, physicians have data that are an essential diagnostic tool for defining a large number of vestibular and auditory disorders or differentiation the peripheral and central character of disease. Software, developed in C# programme, should contribute to further enhancement of medical care in specialized centers for hearing and balance disorders, using the GN Otometrics® instrumentation to testing the above mentioned three methods.

Keywords: vHIT, cVEMP, oVEMP, ABR, vestibulocochlear nerve, software, C#

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	- 10 -
Seznam tabulek	- 12 -
Seznam obrázků	- 13 -
1 Úvod.....	- 14 -
2 Anatomie vnitřního ucha.....	- 16 -
2.1 Vestibulum	- 16 -
2.2 Hlemýžď	- 16 -
2.3 Nervus vestibulocochlearis	- 17 -
2.3.1 Nervus vestibularis.....	- 17 -
2.3.2 Nervus cochlearis	- 18 -
3 Video Head Impulse Test (vHIT).....	- 19 -
3.1 SW OTOsuite® Vestibular	- 19 -
3.1.1 Okno Patients	- 20 -
3.1.2 Okno Head Impulse.....	- 21 -
4 Evokované potenciály	- 28 -
5 Vestibulární evokované myogenní potenciály (VEMP).....	- 30 -
5.1 cVEMP	- 30 -
5.2 oVEMP.....	- 30 -
6 Kmenové evokované potenciály (ABR).....	- 32 -
6.1 Nálezy ABR při různých poruchách sluchu.....	- 33 -
6.1.1 Převodová porucha sluchu	- 33 -
6.1.2 Kochleární porucha sluchu.....	- 33 -
6.1.3 Retrokochleární porucha sluchu.....	- 33 -
7 ICS Chartr® EP 200	- 34 -
8 Praktická část.....	- 38 -
9 Klinická praxe.....	- 39 -
10 Návrh a realizace SW VestibularID.....	- 41 -
10.1 Windows Presentation Foundation	- 41 -
10.2 Relační databázový systém SQLite.....	- 42 -
10.3 Návrh databáze.....	- 42 -
10.4 Zpracování dat z vyšetření vHIT.....	- 44 -
10.5 Zpracování dat z vyšetření VEMP	- 45 -

10.6	Zpracování dat z vyšetření ABR	- 45 -
10.7	Základní popis aplikace.....	- 46 -
10.8	Algoritmus a terminologie pro interpretaci diagnózy	- 48 -
11	Testování softwaru v klinické praxi.....	- 51 -
12	Závěr.....	- 60 -
13	Reference	
	Přílohy	

Seznam použitých zkratek a symbolů

AAR	–	amplitude asymmetry ratio
ABR	–	auditory brainstem response
AEP	–	auditory evoked potentials
AMLR	–	auditory middle latency response
ASSR	–	auditory steady state response
BAEP	–	brainstem auditory evoked potentials
BERA	–	brainstem evoked responses audiometry
CERA	–	cortical electric response audiometry
cVEMP	–	cervical vestibular evoked myogenic potentials
EcochG	–	electrocochleography
HIT	–	head impulse test
LA	–	left anterior (levý přední polokruhovitý kanálek)
LL	–	left lateral (levý boční polokruhovitý kanálek)
LLR	–	long latency response
LP	–	left posterior (levý zadní polokruhovitý kanálek)
MEP	–	motor evoked potentials
MLR	–	middle latency response
oVEMP	–	ocular vestibular evoked myogenic potentials
RA	–	right anterior (pravý přední polokruhovitý kanálek)
RL	–	right lateral (pravý boční polokruhovitý kanálek)
ROI	–	region of interest
RP	–	right posterior (pravý zadní polokruhovitý kanálek)
SEP	–	somatosensory evoked potentials
SLR	–	short latency responses
SSEP	–	steady state evoked potentials
vHIT	–	video head impulse test

VEMP	–	vestibular evoked myogenic potentials
VEP	–	visually evoked potentials
VOR	–	vestibulo-ocular reflex

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnocení horizontálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular	- 25 -
Tabulka 2: Hodnocení vertikálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular	- 25 -
Tabulka 3: Hodnocení stavu vejčitého váčku na základě hodnoty AAR	- 30 -
Tabulka 4: Hodnocení stavu kulovitého váčku na základě hodnoty AAR.....	- 31 -
Tabulka 5: Parsované elementy z XML souborů	- 43 -
Tabulka 6: Systém stanovení symptomatické diagnózy v textové podobě	- 50 -
Tabulka 7: Výsledky vyšetření vHIT	- 51 -
Tabulka 8: Výsledky vyšetření VEMP	- 52 -
Tabulka 9: Výsledky vyšetření ABR pro hladinu zvuku 70 dB.....	- 53 -
Tabulka 10: Výsledky vyšetření ABR pro hladinu zvuku 80 dB.....	- 53 -
Tabulka 11: Celkové výsledky generované algoritmem softwaru VestibularID	- 54 -
Tabulka 12: Celkové vyhodnocení.....	- 56 -
Tabulka 13: Dysfunkce dle orgánů	- 57 -
Tabulka 14: Dysfunkce dle nervů	- 57 -
Tabulka 15: Vestibulopatie	- 58 -
Tabulka 16: Neuropatie.....	- 59 -

Seznam obrázků

Obrázek 1: Kostěný labyrint	- 17 -
Obrázek 2: Brýle ICS Impulse® firmy GN Otometrics se zabudovanou kamerou	- 19 -
Obrázek 3: Okno Databáze OTOSuite Vestibular	- 20 -
Obrázek 4: Okno Export	- 21 -
Obrázek 5: Okno Import	- 21 -
Obrázek 6: ICS databáze	- 34 -
Obrázek 7: Okno s výsledky ABR vyšetření se zvýrazněnou záložkou Review	- 35 -
Obrázek 8: Okno pro uložení dokumentu v daném formátu a tisk	- 36 -
Obrázek 9: Okno pro exportování databázových souborů .mdb	- 36 -
Obrázek 10: Orientační tabulka lékaře	- 40 -
Obrázek 11: Schéma návrhu softwaru VestibularID	- 41 -
Obrázek 12: Struktura parsovaných elementů z XML souboru	- 44 -
Obrázek 13: Algoritmus vyhodnocení vyšetření vHIT	- 44 -
Obrázek 14: Algoritmus vyhodnocení vyšetření VEMP	- 45 -
Obrázek 15: Algoritmus vyhodnocení vyšetření ABR	- 46 -
Obrázek 16: Hlavní okno aplikace VestibularID	- 47 -
Obrázek 17: Vývojový diagram kompletního vyšetření	- 48 -
Obrázek 18: Grafické znázornění struktury vnitřního ucha s popisem jednotlivých částí (vlevo orgány, vpravo nervy)	- 49 -
Obrázek 19: Ukázka vývojového diagramu pro diagnostiku levostranné neuropatie (nervus vestibularis superior)	- 50 -
Obrázek 20: Interpretace výsledku pacienta 15 v aplikaci	- 56 -

1 Úvod

Na zajištění rovnováhy se spolupodílejí polokruhovitě kanálky a otolitické orgány vnitřního ucha. Jedná se o složitý systém, jenž vyžaduje specifické požadavky na vyšetření. Komplexní vyhodnocení stavu periferního vestibulárního aparátu bylo v minulosti, vzhledem ke složitosti a minimálním technickým možnostem, velice obtížně realizovatelné. Vyšetření s sebou nesla velkou míru subjektivity. Postupný rozvoj lékařské přístrojové techniky umožnil stále přesněji hledat příčiny poruch rovnováhy. Mezi nejmodernější diagnostické metody, kterými je možné vyhodnotit funkci vestibulárního ústrojí, patří video Head Impulse Test (vHIT) a vestibulární evokované myogenní potenciály (VEMP). Jejich implementací do jednoho celku lze získat objektivní náhled na stav vestibulárního nervu [22–24]. Zahrnutím výsledků z vyšetření kmenových evokovaných potenciálů (ABR) je možné sledovanou oblast rozšířit o sluchový nerv, čímž dojde ke kompletizaci vyšetření vestibulokochleárního nervu [21, 25, 29].

S novými diagnostickými nástroji v podobě metod video Head Impulse Test, VEMP a ABR, se významně zpřesnil pohled lékaře na nervový systém vnitřního ucha, jenž je zodpovědný za správnou funkci jednotlivých orgánů (polokruhovitých kanálků, otolitických orgánů a hlemýždě) v dané oblasti. Vzhledem k tomu, že vHIT a VEMP (především oVEMP) jsou záležitostí teprve posledních několika let, je jejich uvedení do praxe pozvolné a vyskytují se pouze ve špičkových centrech, zabývajících se rovnovážným systémem. V situaci, kdy má ambulance všechna tři vyšetření (vHIT, VEMP a ABR) k dispozici, se jeví propojení výsledků všech tří testů jako velmi přínosné pro diagnostiku sluchově rovnovážného nervu [21, 29].

Donedávna zlatý standard vyšetření polokruhovitých kanálků a jejich inervace, kalorický test, umožňuje vyšetřit pouze horizontální rovinu těchto orgánů, spolupodílejících se na rovnovážném systému. Stav kanálků ve vertikální rovině bylo sice možné posoudit metodami scleral search coil a Head Impulse Test, nedokázaly se ovšem kvůli svým zřejmým nedostatkům trvale prosadit v klinické praxi. Tato skutečnost v minulosti omezovala možnosti efektivního propojení jednotlivých subvyšetření vnitřního ucha. Teprve s rozvojem video Head Impulse Testu bylo možné zakomponovat data dohromady s vyšetřením VEMP a ABR, prostřednictvím navrženého softwaru VestibularID.

Předmětem diplomové práce je návrh softwarové aplikace VestibularID, která umožňuje sloučení výsledků z výše popsaných vyšetření vHIT, VEMP a ABR do jednoho celku, z něhož je pomocí nastaveného algoritmu generována diagnóza vestibulokochleárního nervu a všech suborgánů vnitřního ucha. Stanovení diagnózy je založeno na systému odborné lékařské terminologie k interpretaci diagnóz vnitřního ucha na základě klinicky možných kombinací výsledků těchto tří vyšetření, který byl za účelem implementace do softwaru vytvořen pod dohledem specialistů z oboru ORL. Hlavním přínosem softwaru, vyvinutém v programovacím jazyce C#, je přesné stanovení diagnózy vestibulokochleárního nervu s vizualizací postižené oblasti nervové struktury vnitřního ucha, což vede z pohledu lékaře k významnému urychlení a usnadnění procesu vyšetření.

Práce se snaží vyjmenovat a eliminovat nedostatky současné klinické praxe, týkající se sloučení výsledků ze tří zmíněných vyšetření. Nutnost sestavení mozaiky z jednotlivých testů vnitřního ucha pomocí vytištěné tabulky se znázorněnou kombinací možného výsledku

vyšetření vHIT a VEMP je pro lékaře značně problematické. Jelikož v uvedené tabulce chybí zařazení testu ABR, je pomocí ní možné interpretovat pouze vybrané diagnózy částí rovnovážného nervu.

Každý typ vyšetření vnitřního ucha má své specifické rozhodující parametry. Jelikož v tabulce nejsou tyto parametry uvedeny, jsou na lékaře kladeny vysoké nároky na pozornost při interpretaci výsledků z jednotlivých vyšetření a jejich následném správném dosazení do kontextu funkce rovnovážného nervu. Jak je z výše popsané problematiky evidentní, lékař nemá možnost automatizovaného vyhodnocení, elektronického záznamu a uložení v databázi, porovnání progresu léčby či stanovení sjednocené lékařské terminologie. Všechny zmíněné nedostatky si klade za cíl řešit navržený software VestibularID.

2 Anatomie vnitřního ucha

Vnitřní ucho (auris interna) je tvořeno blanitým a membranózním labyrintem. Jedná se o systém chodbiček a rozšíření obsahujících senzorický epitel v pyramidě kosti skalní. Membranózní labyrint je vyplněn endolymfou. Kolem něj se nachází v kostěném labyrintu perilymfa. Vnitřní ucho je rozděleno na dvě části: sluchovou (kochleární) a rovnovážnou (vestibulární). V této kapitole byly informace čerpány z následujících pramenů: [30, 39].

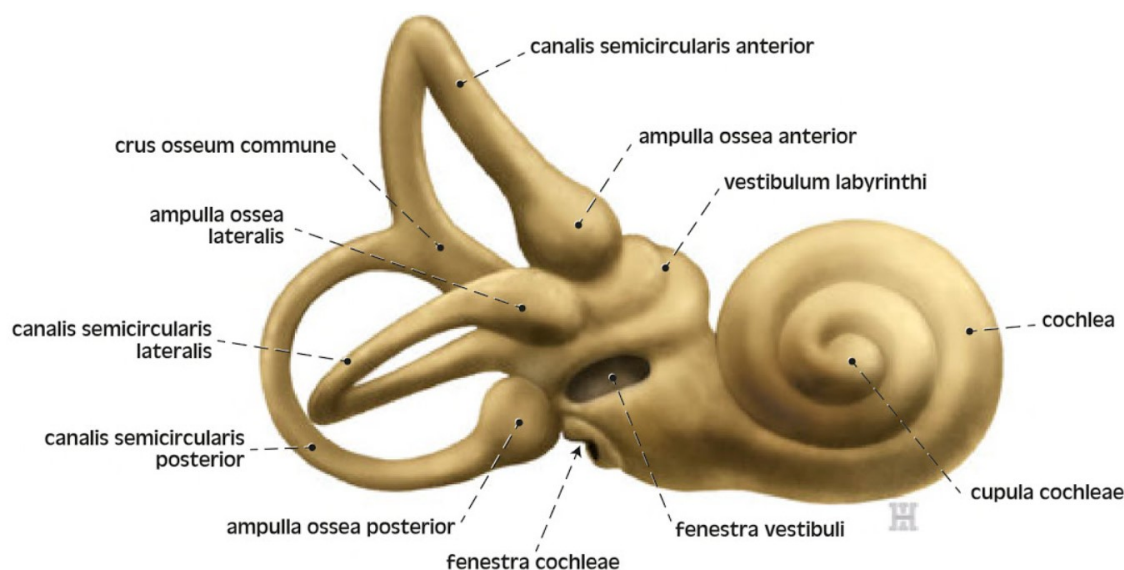
2.1 Vestibulum

Oválné okénko (fenestra vestibuli) odděluje rovnovážnou část vnitřního ucha od ucha středního. V tomto okénku se nachází báze třmínku, která přenáší akustické vlny na perilymfu v kostěném labyrintu. Vestibulární část membranózního labyrintu zahrnuje dva váčky a tři polokruhovitě kanálky. Vejčitý váček (utricle) má průměr přibližně 3 mm a vychází z něj tři polokruhovitě kanálky v osách na sebe kolmých: ductus semicircularis anterior (superior), posterior et lateralis. Přední úseky kanálků jsou rozšířeny v ampuly, zadní úseky jsou štíhlé a z horního a zadního kanálku se spojují (crus commune), laterální kanálek je samostatný (crus simplex). Kulovitý váček (sacculus) souvisí úzkým kanálkem s vejčítým váčkem (utricle) a je dále spojen kanálkem (ductus reuniens) s bází hlemýždě. Ve vejčitém i kulovitém váčku jsou políčka (horizontální macula utriculi, vertikální macula sacculi), v nichž jsou v gelatinózní hmotě drobné konkrementy (statoconia), které při pohybu dráždí štětičkovité výběžky neuroepitelových buněk. Tato políčka vyhodnocují změny polohy těla vzhledem ke gravitačním silám a označují se jako statický labyrint. Podobné senzorické buňky opatřené štětičkovými výběžky směřujícími do gelatinózní hmoty (cupula ampullaris) jsou i na hranách vyčnívajících do ampul polokruhovitých kanálků (crista ampullaris). V ampulách dochází ke vnímání změny polohy a otáčení hlavy. Jedná se o kinetický labyrint. Neuroepitel transformuje pohybové podněty na vzruchy, odváděné n. vestibularis. Endolymfatický prostor membranózního labyrintu je propojen s meningeálními prostory v tvrdé pleně na zadní straně kosti skalní úzkým kanálkem (ductus endolymphaticus) vycházejícím ze spojovacího kanálku mezi vejčítým a kulovitém váčkem (ductus utriculosaccularis). Mezi vrstvami tvrdé pleny se nachází ductus endolymphaticus rozšířen v saccus endolymphaticus.

2.2 Hlemýžď

Hlemýžď je spojen se středoušní dutinou (promontorium) okrouhlým okénkem (fenestra cochleae). Závity kostěného hlemýždě, vyplněné perilymfou, jsou rozděleny přepážkou na dvě části: scala tympani a scala vestibuli. Ve scala vestibuli na bazilární membráně se rozprostírá blanitý labyrint, spirální ductus cochlearis, vyplněný endolymfou. V něm se nachází Cortiho orgán, obsahující smyslový epitel. Na vláskové buňky, tvořící tento epitel, náleží rosolovitá membrana tectoria. Akustické vlny, přenášené ze středního ucha na perilymfu, rozkmitají bazilární membránu, vláskové buňky interagují s membrana tectoria a vzruchy, přes spirální ganglion uložené v modiolu, odvádí sluchový nerv (nervus cochlearis). Ductus cochlearis je oddělen od perilymfatického prostoru pomocí Reissnerovy membrány (membrana vestibularis).

Perilymfatický prostor je se subarachnoidálním prostorem na spodní ploše skalní kosti spojen úzkým kanálkem (aqueductus cochleae) vycházejícím ze začátku hlemýžďe.



Obrázek 1: Kostěný labyrint [40]

2.3 Nervus vestibulocochlearis

Osmý hlavový nerv se skládá z dvou hlavních oddílů: rovnovážného nervu (nervus vestibularis) a sluchového nervu (nervus cochlearis). Oba nervy mají ganglia, která obsahují bipolární buňky. Ganglion Vestibulare je na dně meatus acusticus internus a je složen ze dvou částí, pars superior et pars inferior. Ganglion cochleare je v podobě spirálního pásu uloženo na styku modiolu a lamina spiralis ossea kostěného labyrintu. Větvení sluchově rovnovážného nervu je znázorněno na titulním obrázku této práce, jenž je převzat z následujícího zdroje: [40].

2.3.1 Nervus vestibularis

Dendrity buněk ganglion vestibulare se rozvětvují u receptorových smyslových buněk v maculae staticae a v cristae ampullares vestibulární části blanitého labyrintu a přijímají signály o poloze hlavy vůči gravitaci (zrychlení), o změnách této polohy (v maculae staticae) a o otáčivém (úhlovém) zrychlení pohybů hlavy (v cristae ampullares). Tyto podněty jsou následně vedeny do bipolárních buněk: vytvářejí přitom typické skupiny vláken, jejichž totožnost lze zjistit podle průchodu jednotlivými místy ve fundus meatus acustici interni. Axony buněk ganglion vestibulare ústí v mostomozečkovém koutu vedle nervus facialis do pontu a končí u buněk nuclei vestibulares. Nervus vestibularis vede z vnitroušního labyrintu signály o poloze hlavy a jejich změnách (sklonění) a o otáčivých pohybech hlavy.

2.3.2 Nervus cochlearis

Dendrity buněk kochleárního ganglia začínají u receptorových vláskových smyslových buněk v organum spirale (v Cortiho orgánu) a vedou v lamina spiralis ossea kostěného hlemýžďe k modiolu, do bipolárních buněk ganglion cochleare. Zajišťují tak přenos akustických signálů. Axony buněk kochleárního ganglia zahýbají směrem k meatus acusticus internus a jdou rovnoběžně s podélnou osou kuželovitého modiolu hlemýžďe. Vytvářejí spirální systém podélných kanálků s nervovými vlákny, který pak jako skupina otvůrků – tractus spiralis foraminosus – končí ve fundus meatus acustici interni. Těmito otvůrkami procházejí vlákna nervus cochlearis do nitra lebky a vstupují spolu s vlákny rovnovážného nervu (nervus vestibularis) a z lícního nervu (nervus facialis) v mostomozečkovém koutu a končí u buněk nucleí cochleares – nucleus cochlearis ventralis a nucleus cochlearis dorsalis. Nervus cochlearis transportuje signály ze senzorických buněk Cortiho orgánu, čímž zajišťuje vnímání zvuků.

3 Video Head Impulse Test (vHIT)

Video Head Impulse Test (vHIT) je objektivní metoda vyšetření zadní části vestibulárního nervu, využívající kamerový záznam rychlých očních pohybů (korekčních sakád) během prudké stimulace hlavy do stran dle rovin polokruhovitých kanálků. Vlákně horního vestibulárního nervu (nervus vestibularis superior) zajišťuje inervaci bočního a předního polokruhovitého kanálku, kdežto vlákno dolního vestibulárního nervu (nervus vestibularis inferior) inervuje zadní polokruhovitý kanálek. Díky tomu je možné vyšetřit horizontální i vertikální polokruhovité kanálky vnitřního ucha. Vychází z principu subjektivní metody Head Impulse Test (HIT), která je založena na provázanosti vestibulárního ústrojí a okohybného nervu. Tzv. vestibulookulární reflex zajišťuje stabilitu obrazu na sítnici při pohybech hlavy. Metoda HIT, jež v roce 1988 popsali Dr. Ian Curthoys a Dr. Michael Halmagyi, je charakteristická přímou spoluprací vyšetřujícího s pacientem, bez využití technické podpory či speciálních pomůcek. Zde vyvstává nevýhoda této metody: nemožnost odhalit skryté sakády (lidským okem nepostřehnutelné pohyby zorniček). Vzhledem k novým technickým možnostem došlo k rychlému rozvoji Head Impulse Testu směrem k potřebné objektivizaci. První systémy založené na videu byly vyvinuty na přelomu tisíciletí. Ty nejmodernější (např. ICS Impulse®) dnes využívají lehkých brýlí (viz obr. 2) s vysokorychlostní kamerou (250 Hz), jež dokáže efektivně zachytit rovněž skryté sakády (lidským okem nepostřehnutelné pohyby zorniček). Vestavěné gyroskopy a akcelerometr zajišťují měření rychlosti, respektive směru pohybu hlavy [21, 23, 26–28].

Podrobnější historii vyšetření, technické parametry přístroje, detailní postup testování a další informace lze nalézt v bakalářské práci [3], která byla tomuto vyšetření kompletně věnována.



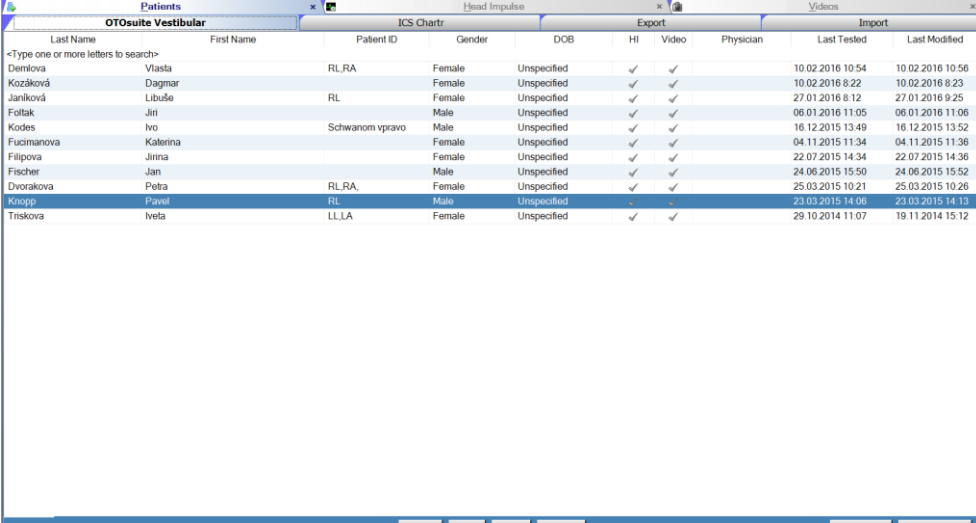
Obrázek 2: Brýle ICS Impulse® firmy GN Otometrics se zabudovanou kamerou [1]

3.1 SW OTOSuite® Vestibular

Jedná se o software vytvořený firmou GN Otometrics, který je součástí systému ICS Impulse®.

3.1.1 Okno Patients

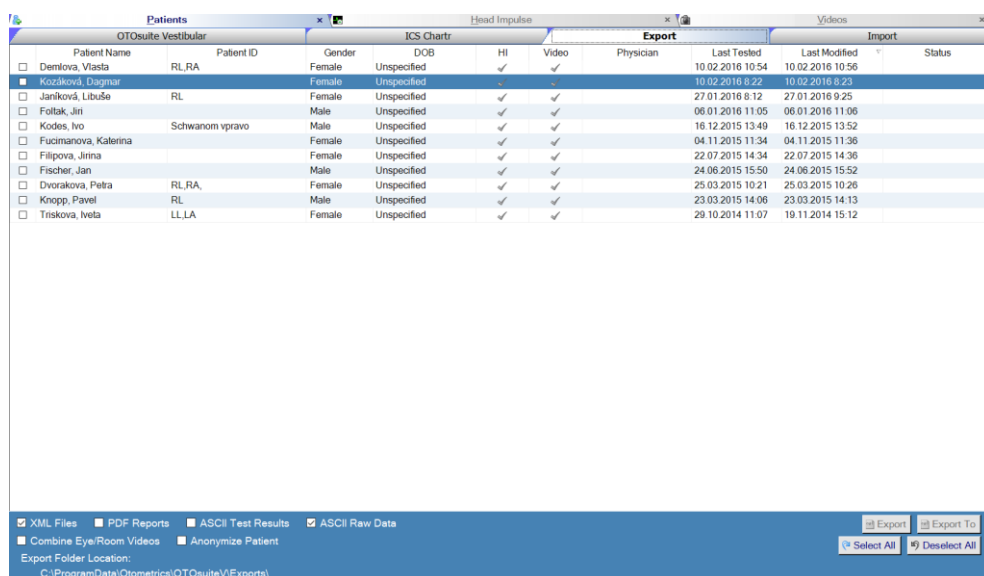
System nabízí přehled všech uložených pacientů v databázi OTOSuite Vestibular (viz obr. 3). Ta zahrnuje údaje o příjmení, křestním jménu, pacientově identifikačním čísle, popřípadě zjištěné diagnóze, pohlaví, datum narození, informace o tom, zda jsou již k dispozici uložené údaje o provedení Head Impulse Testu a k němu pořízeném videu, jménu vyšetřujícího lékaře, datu, kdy proběhlo vyšetření a závěrečným údajem je datum poslední změny.



Last Name	First Name	Patient ID	Gender	DOB	HI	Video	Physician	Last Tested	Last Modified
Demlova	Vlasta	RL RA	Female	Unspecified	✓	✓		10.02.2016 10:54	10.02.2016 10:56
Kozáková	Dagmar		Female	Unspecified	✓	✓		10.02.2016 8:22	10.02.2016 8:23
Janíková	Libuše	RL	Female	Unspecified	✓	✓		27.01.2016 8:12	27.01.2016 9:25
Polák	Jiri		Male	Unspecified	✓	✓		06.01.2016 11:05	06.01.2016 11:06
Kodes	Ivo	Schwanom vpravo	Male	Unspecified	✓	✓		16.12.2015 13:49	16.12.2015 13:52
Fucimánová	Katerina		Female	Unspecified	✓	✓		04.11.2015 11:34	04.11.2015 11:36
Filipová	Jirina		Female	Unspecified	✓	✓		22.07.2015 14:34	22.07.2015 14:36
Fischer	Jan		Male	Unspecified	✓	✓		24.06.2015 15:50	24.06.2015 15:52
Dvoráková	Petra	RL RA	Female	Unspecified	✓	✓		25.03.2015 10:21	25.03.2015 10:26
Knopp	Pavel	RL	Male	Unspecified	✓	✓		23.03.2015 14:06	23.03.2015 14:13
Triskova	Iveta	LLLA	Female	Unspecified	✓	✓		29.10.2014 11:07	19.11.2014 15:12

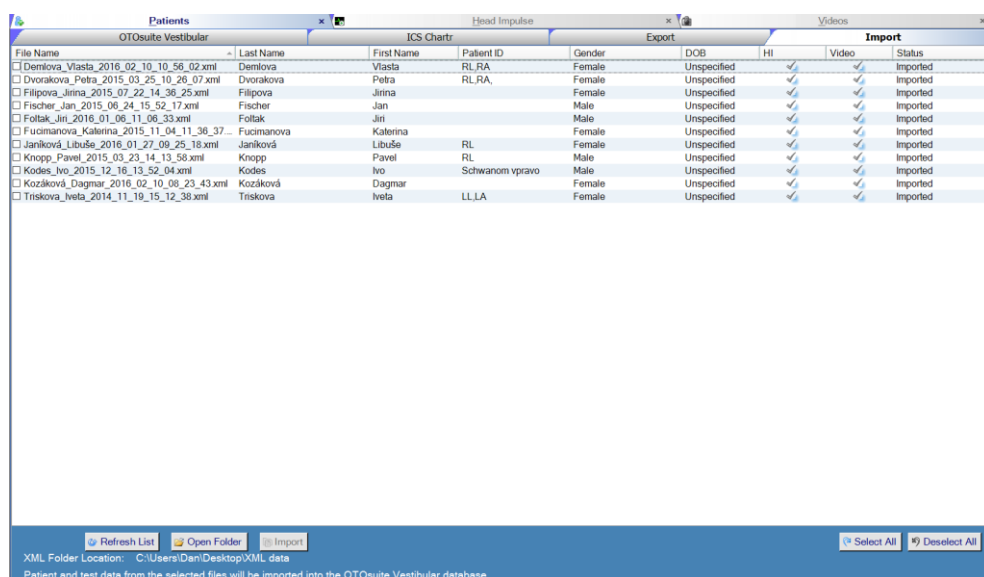
Obrázek 3: Okno Databáze OTOSuite Vestibular

Možný je rovněž export a import dat pacientů. Exportovat vybraný záznam pacienta z databáze lze ve třech různých formátech. Formátu XML, PDF nebo CSV. Stačí zatrhnout příslušný odkaz a vybrat místo uložení (viz obr. 4).



Obrázek 4: Okno Export

Importovat data je možné pouze ve formátu XML a to kliknutím na odkaz Open Folder a následném vybrání cílového umístění. Po načtení příslušných XML dat je nutné vybrané soubory zařadit do systémové databáze ikonou Import (viz obr. 5).



Obrázek 5: Okno Import

3.1.2 Okno Head Impulse

Zde se nachází kompletní analýza vyšetření. Podokna jsou seřazena následovně: Impulse Test, 2D Analysis, Hex Plot, 3D Analysis, Progress Graphs, Progress Data, Report, Options. Obsah vybraných záložek je detailněji rozebrán níže.

3.1.2.1 Okno Impulse Test

Po rozkliknutí této záložky se zobrazí čtyři okna. Real Time Trace, Impulse, Video a Controls. Ze všeho nejdřív je nutné provést detekci zorničky. K tomu slouží okno Video. Systém detekuje černé pole zorničky, označuje ho jako ROI (region of interest). Úkolem vyšetřujícího je vycentrovat zaměřovač na oblast ROI. Na výběr jsou volby zobrazení Grayscale Image a Pupil Location. Funkci automatické prahové hodnoty Auto Threshold lze využít v případě, že nebyla automaticky detekována zornice. Zaměřovač je na zornici následně vycentrován systémem. Poté je nutná kontrola správného následování pohybu zorničky zaměřovačem. Nabídka Video Recording umožňuje nahrávat pohyb oka kamerou. Tlačítko Record a Stop slouží k manuálně řízenému nahrávání, kdežto po zaškrtnutí pole Auto Record je nahrávání spuštěno automaticky. Dalším krokem je nastavení testu v záložce Test Setup okna Controls. Uživatel volí typ testu z nabídky laterální, LARP a RALP roviny polokruhovitých kanálků. Při plánovaném testování všech tří rovin je vhodné postupovat podle výše zmíněného pořadí (z důvodu kalibrace brýlí).

Software nabízí možnost zohlednění pacientů se spontánním nystagmem nebo nystagmem vyvolaným upřeným pohledem. Před vyšetřením je nutné označit v nastavení testu políčko Spontaneous Nystagmus, díky čemuž software přizpůsobí algoritmus analýzy impulsů spontánnímu nystagmu. Korekční sakády spontánního nystagmu se mohou vyskytnout před a/nebo po impulsu hlavy, na rozdíl od běžných sakád, které mají navíc obvykle větší amplitudu. Za normálních okolností směřují v jednom směru impulsu nahoru a v opačném směru dolů. U nystagmu, který se projeví mimo stranu deficitu, se sakády spontánního nystagmu vyskytují v opačném směru než impulsy hlavy směřující k nedotčené straně. Korekční sakády v záporném směru mohou být způsobeny nejen spontánním nystagmem, ale také vznikem artefaktu, označovaným jako tzv. překmit.

Funkce Center se týká pouze LARP a RALP testu. Jde v podstatě o softwarovou náповědu pro vyšetřujícího, jenž se chystá provádět impulsy ve dvou výše zmíněných rovinách. Nejprve je nutné se ujistit, že hlava pacienta směřuje přesně čelem k terčíku na stěně. Až poté je možné přistoupit k jejímu natočení přibližně o 45 ° doleva, respektive doprava, dle zbarvení symbolu hlavy na obrazovce. Zelená barva značí správný úhel otočení, žlutá pak indikuje nepřesnou polohu hlavy, v rozmezí 35–39.9 ° nebo 47–49.9 °. Kliknutím na tlačítko OK nabídky ROI Position je uživatelem potvrzena správná detekce zorničky systémem, popřípadě může být tažením zeleného rámečku upravena.

Pokud je vše správně nastaveno, je možné zvolit záložku Calibration. Samotnou kalibraci brýlí ICS Impulse® je obvykle nutné provést pouze při prvním testu (nejlépe laterálním). Pokud by však došlo ke změně polohy brýlí na obličeji pacienta, je opětovná kalibrace nezbytná. Kliknutím na políčko Lasers On, v nabídce Position Laser Dots, dojde k zapnutí kalibračních laserů. Pacient je následně požádán, aby nasměroval dvě laserové tečky, promítané z brýlí na stěnu, mezi nalepený stacionární bod tak, aby byl přesně uprostřed. K zahájení kalibračního procesu slouží volba Run. Následně pacient sleduje blikající lasery na každé ze stran. Pohyb očí mezi dvěma laserovými body je měřen a kalibrován vzhledem ke vzdálenostním hodnotám obou laserů. Posledním krokem je kontrola kalibračních hodnot, provedením pohybů hlavy do stran (stejných jako u vyšetření funkce horizontálních polokruhovitých kanálků).

K monitorování pacienta v reálném čase slouží okno Real Time Trace. Barevně jsou zde naznačeny pohyby oka v příslušné rovině (laterální, LARP nebo RALP) a pohyb očí v závislosti na rychlosti prováděných impulsů. Stopa očí je značena zeleně, stimulace v laterální rovině oranžově, v LARP rovině modře a v RALP rovině fialově. Na ose X je zobrazena časová linie testu a na ose Y aktuální rychlost impulsů (°/s). Díky tomuto oknu má lékař možnost rozpoznat, zda pacient pohybuje hlavou nebo očima (místo sledování fixačního bodu), přílišně mrká nebo nenásleduje instrukce vyšetřujícího (nespolupracuje). Tlačítkem Accept lze potvrdit úspěšnou kalibraci. Pokud není stopa očí a hlavy vzájemně překryta (neshoduje se), musí dojít k rekalibraci nebo opětovnému nahlédnutí do pacientovy dokumentace. V případě, že pacient nemůže být z nějakého důvodu (např. zrakového) kalibrován, musí být použito tlačítko Default, které umožňuje použití referenčních kalibračních hodnot. Celkově zabere kalibrační proces pouze několik sekund a není k němu třeba žádný další kalibrační hardware.

Tímto je systém připraven na zahájení testování. Třetí záložkou okna Controls je Collection. Nabízí možnost nastavit požadovaný počet impulsů, které chce vyšetřující provést pro test jedné z rovin polokruhovitých kanálků. Doporučený počet impulsů je dvacet pro levý i pravý kanálek. Při testování horizontálních polokruhovitých kanálků stojí vyšetřující za pacientem a uchopí jeho hlavu v temenní oblasti tak, aby se nedotkl popruhu brýlí. Hlava pacienta by měla být skloněna o 30 ° směrem dolů, zároveň je požádán, aby sledoval fixní bod na stěně. Poté lékař provádí prudké (120–250 °/s) a pro pacienta nepředvídatelné otáčení hlavou v rovinách obou laterálních polokruhovitých kanálků (tzn. doleva a doprava) s úhlovým rozsahem 10–20 °. Tlačítkem Start je vyšetření zahájeno. Dále je možno test přerušit (Stop) či zrušit (Cancel). Vyšetřující v průběhu testování sleduje okno Real Time Trace, kde má možnost optimalizovat rychlost prováděných impulsů a v záložce Collection současně kontrolovat jejich počet (přijatých či zamítnutých impulsů systémem). Správně provedené impulsy pro levou stranu (Left) jsou započítány modře zvýrazněným číslem, pro pravou stranu (Right) červeně a systémem zamítnuté impulsy (Rejected) černě. Vpravo nahoře okna Real Time Trace se nachází barevný kruh, který indikuje kvalitu prováděných impulsů. Zelenou barvou je vykreslen v případě, že byl aktuální impuls přijat, oranžově pak v případě zamítnutí impulsu. V tomto případě se navíc v okně Collection zobrazí popis o chybném impulsu. Too slow indikuje nedostatečnou rychlost impulsu, too much overshoot pak opačný pohyb hlavy, než na kterou byl impuls zahájen a posledním možným upozorněním je wrong planes stimulated, kdy došlo ke stimulaci v aktuálně netestované rovině polokruhovitých kanálků.

Vedle okna Real Time Trace je umístěno okno Impulse, které nabízí vzorově naznačené trasy impulsů hlavy. A to na kladné i záporné straně osy Y. Stimulace levých polokruhovitých kanálků se projevuje stopami v kladných hodnotách a stimulace pravých v záporných hodnotách (v oknech 2D a 3D analýzy jsou už jednotlivé grafy zobrazeny standardně v kladné části okna). Osy X a Y odpovídají významu os v okně Real Time Trace (jak již bylo popsáno). Pro laterální rovinu jsou vyznačeny stopy o rychlosti 100, 150, 200 a 250 °/s. V závislosti na typu roviny stimulace se tyto vzorové linie automaticky upravují. Při laterální stimulaci se trasa přijatého impulsu zobrazí na pozadí vzorových linek. Ty jsou označeny šedou barvou, zelenou pak pohyb očí, modrou pohyb hlavy doleva, oranžovou doprava. Na levém okraji jsou navíc znázorněny tečky, které indikují rychlost realizovaných impulsů hlavy.

Ve spodní části okna Collection jsou informace o délce prováděných impulsů a datum

pořízení (Elapsed Time), aktuální snímková frekvence (Frame Rate), která nesmí klesnout pod 219 Hz. V opačném případě budou impulsy zamítnuty. Poslední informací, Calibration Δ, je vzdálenost mezi levou a pravou polohou oka. Je vycházeno z dat, naměřených během kalibračního procesu. Obdobným způsobem je prováděno také testování LARP a RALP rovin polokruhovitých kanálků. Požadovaný úhel otočení hlavy pacienta o 45 ° je realizován pomocí softwarové nápovědy v okně Test Setup (jak bylo popsáno výše). Lékař provádí impulsy v předepsaném rychlostním intervalu (100–250 °/s) tak, aby vyhověly nastavenému algoritmu přístroje. Směr těchto, pro pacienta nepředvídatelných pohybů, je dán rovinou testovaných kanálků. Kontrola okna Real Time Trace i počtu přijatých či zamítnutých impulsů probíhá stejně, jako při testování laterálních rovin.

Klíčová, pro kvalitní datový výstup vyšetření, je rychlost prováděných impulsů. Doporučená vrcholová rychlost stimulace hlavy pro testování horizontálních polokruhovitých kanálků v laterální rovině činí 120–250 °/s. Pro vertikální polokruhovité kanálky se ideální vrcholový rychlostní interval pohybuje v oblasti 100–250 °/s. Důvodem je, že impuls hlavy, odpovídající rychlosti pod 50 °/s, je zprostředkován zcela pomocí sledovacího mechanismu okohybného systému. Impuls hlavy s rychlostí v rozmezí 50–100 °/s je zajištěn jak okohybným systémem, tak i vestibulárním reflexem. Při hodnotách nad 100 °/s je již impuls zprostředkován zcela pomocí VOR. Poslední záložkou okna Controls je Remarks (poznámky). Zde má lékař možnost doplnit testování svým komentářem [2, 4, 5].

3.1.2.2 Okno 2D analysis

Obsah této záložky je rozdělen na dvě části. Vlevo se nachází okno Gain a vpravo k němu náležící 2D grafy. Levá část obrazovky, grafické znázornění Gainu, neboli podílu očních rychlostí vzhledem k rychlostem hlavy (tzv. Gainu VOR) s rozprostřením dle dosažených maximálních rychlostí hlavy, umožňuje objektivizaci a kvantitativní posouzení VOR. Prostřednictvím Gainu je klasifikovaná funkce polokruhovitých kanálků. Software OTOsuite® Vestibular je členěn na správně či nedostatečně fungující. Okno Gain je dále rozděleno na tři části, umístěné pod sebou, reprezentující typ testování (laterální, LARP, RALP). Graf jednotlivých impulsů hlavy vykresluje výsledek (Gain) v podobě tečky. Ty nabývají dvou barev, v závislosti na testovaném kanálku. Modrou barvou jsou značeny levé kanálky (LL, LA, LP), červenou barvou pak pravé kanálky (RL, RP, RA). Na jednotlivé tečky lze pro zobrazení konkrétní hodnoty Gainu kliknout kurzorem, navíc se zobrazí příslušná stopa impulsu ve 2D grafu v pravé části obrazovky. Lze také vybrané tečky vymazat klávesou Delete. Samotná hodnota Gainu se v grafu nachází na ose Y se standardně nastaveným rozmezím 0.0–1.2. Osa X znázorňuje maximálně dosažené rychlosti hlavy v rozptylu 40–300 °/s. Systém následně z množství vykonaných impulsů vygeneruje střední hodnotu Gainu, která se zobrazí v podobě křížku. Nad grafem je tato průměrná hodnota zobrazena také číselně a je rovněž doplněna o hodnotu standardní odchylky a asymetrie pravolevého VOR. K výpočtu asymetrie je potřeba rozlišovat menší a větší hodnotu Gainu u obou kanálků náležících k příslušné rovině. Algoritmus výpočtu asymetrie (udávané v procentech) je následující:

$$\left(1 - \frac{\text{menší hodnota Gainu}}{\text{větší hodnota Gainu}}\right) \times 100 \quad (1)$$

Vyšetřující má díky grafu přehled o jednotlivých impulsech, a zda jejich rychlosti odpovídají požadovanému intervalu (což systém kontroluje automaticky). V závislosti na ose otáčení očí a hlavy, za předpokladu dodržování správné vzdálenosti stacionárního fixního bodu, stejně tak světelných poměrů, činí bezrozměrná normativní hodnota Gainu u laterálních impulsů (při vyšetření horizontálních polokruhovitých kanálků) 0.8–1.2 (viz tabulka č. 1). Pro LARP/RALP rovinu (při testování vertikálních polokruhovitých kanálků) se hodnoty pohybují v rozsahu od 0.7–1.2 (viz tabulka č. 2). V případě Gainu přesahujícího hodnotu 1.2 je vyšetření ovlivněno artefakty, které mohou vznikat různými faktory. Častým důvodem jsou špatně sedící brýle. Řešením tohoto problému je použití nové vycpávky brýlí a utáhnutí popruhu. Důležité je vyvarovat se doteků všech částí brýlí na hlavě pacienta. Vyšetření usnadní rovněž připnutí přívodního kabelu na pravé pacientovo rameno. Mezi další faktory patří chybně provedená kalibrace či nedodržení vzdálenosti fixního bodu od pacienta. V krajním případě může pacient trpět Meniérovou chorobou [5].

Tabulka 1: Hodnocení horizontálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular

Gain VOR	Význam
1.20–0.80	správně fungující polokruhovitý kanálek
< 0.80	dysfunkce polokruhovitého kanálku

Tabulka 2: Hodnocení vertikálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular

Gain VOR	Význam
1.20–0.70	správně fungující polokruhovitý kanálek
< 0.70	dysfunkce polokruhovitého kanálku

Graf rovněž dodržuje výše zmíněné intervaly ve svém barevném zobrazení, kdy jsou hodnoty v normativním rozmezí umístěny v bílém pozadí, kdežto tečky pod tímto intervalem v šedém pozadí. Pokud je Gain vyšší než zmíněný interval, okno automaticky zvětší svůj rozptyl zobrazení. Hodnota Gainu ve výše uvedených referenčních intervalech tak reflektuje integritu polokruhovitého kanálku. Primárně zobrazené okno Gain lze také pomocí dalších záložek přepnout do režimů Info, Remarks, Test, Display, Reanalysis. V záložce Info se nachází následující informace. Impulse Analysis, rozdělené na dva odlišné algoritmy analýzy impulsů, konkrétně Collection Impulses a Analysis Impulses. Prvním algoritmem jsou rychlosti provedených impulsů porovnány s hranicemi referenčních rychlostních intervalů. Pokud se impulsy nacházejí mimo výchozí rozsah, jsou softwarem zamítnuty. Je tak zamezeno přístupu chybných dat do celkového výsledku testu. Druhým řídicím prvkem je analyzační algoritmus. Ten eliminuje data získaná na začátku a na konci prováděných impulsů. Poté dojde k reanalýze, opět vzhledem k referenčním intervalům. Analyzační algoritmus následně přesně stanoví rychlostní hladinu vrcholových hodnot příslušných impulsů hlavy. V softwaru se pomocí těchto algoritmů zobrazuje počet přijatých impulsů (pro levý, respektive pravý polokruhovitý kanálek) a počet systémem zamítnutých impulsů. Dále je zde uveden průměrný počet sakád (pro levý i pravý kanálek), konkrétně zjevných, skrytých a jejich celkový součet. V dolní části obrazovky

jsou uvedeny informace o rychlosti snímkové frekvence, vzdálenosti mezi pozicemi levého a pravého oka v pixelech, naměřené během kalibrace, a případně také poznámka o upravených parametrech korekční sakád. Záložka Remarks nabízí možnost vkládání komentářů kdykoliv během vyšetření. Záložka Test souvisí se záložkou Remarks, jelikož se po zapsání textu komentáře zobrazí v obou složkách. Nabídka Display umožňuje zobrazit výsledky pouze pro jeden z polokruhovitých kanálků, libovolně mezi nimi přepínat, a to nejen v okně Gain, ale také v příslušných 2D grafech na pravé straně obrazovky. Poslední záložkou je Reanalysis, která v horním rohu umožňuje obnovit vymazaná data a zkontrolovat, zda bylo vyšetření provedeno u pacienta se spontánním nystagmem (v tom případě je zaškrtnuté políčko Spontaneous Nystagmus). Dolní část okna nabízí úpravu výchozí amplitudy korekčních sakád pomocí posuvníku Baseline Amplitude, který slouží pro případ, kdy má vyšetřující podezření, že nedošlo k vyhodnocení daného očního pohybu jako sakády. Pro tento případ slouží také druhý posuvník, Start Position, který umožňuje softwaru určit, v jakém okamžiku má začít hledat výskyt sakád. Výše zmíněné nastavení lze vybrat pro levý i pravý hlavový impuls, a navíc je možno pomocí tlačítka Restore Defaults uvést výchozí parametry do továrního nastavení.

Pravá část obrazovky nabízí 2D grafy softwarem zaznamenaných, jednotlivě provedených impulsů hlavy. Na konci testu jsou všechny stimuly (rotace hlavy) a jim příslušné odpovědi (kompenzační pohyb očí) navrstveny a zobrazeny v podobě grafu pro všech šest polokruhovitých kanálků. Osa X vymezuje čas trvání jednotlivých impulsů (stupnice: 140–560 ms), osa Y rychlost očí a hlavy v rozsahu: 100–300 °/s. Primárně je stopa hlavy naznačena modrou barvou, stopa očí, během VOR, zelenou barvou, je však možné tyto barvy nastavit dle požadavků uživatele. Mezi zaznamenanými stopami lze pomocí myši přepínat, případně je vymazat klávesou Delete. Označená stopa se vždy zobrazí také v podobě tečky v okně Gain na levé straně obrazovky. U osoby bez poruchy periferního vestibulárního ústrojí jsou tyto dvě stopy vzájemně překryty, v opačném případě se v grafu vyskytují oranžově znázorněné sakády. Přítomnost korekčních sakád v grafu je podmíněna velkou amplitudou, podobnou stopou a dobou výskytu větší než 70 ms od začátku stimulace. Skryté sakády jsou charakteristické svým výskytem v průběhu rychlostní amplitudy zaznamenaných pohybů očí a hlavy. Zjevné sakády jsou přítomné v časové oblasti až za zmíněnou amplitudou [3, 6–9].

3.1.2.3 Okno Hex Plot

Záložka Hex Plot nabízí přehledně seřazené 2D grafy (tak, jak byly popsány v záložce 2D analýza) pro jednotlivé kanálky, přičemž v dolní části každého grafu je zobrazena průměrná hodnota Gainu VOR. V prostřední části vyskytující se hexagram naznačuje pro každý kanálek tyto průměrné hodnoty, tentokrát graficky. Je složen ze dvou rámečků pro usnadnění orientace. Vnitřní znázorňuje hodnotu Gainu 0.5 a vnější 1.0. Zelenou barvou je označen sloupec daného kanálku, jenž dosahuje hodnot Gainu v rozmezí 0.8–1.25 u laterálních impulsů, respektive 0.7–1.25 při vyšetření v LARP/RALP. Nižší hodnoty Gainu (tudíž polokruhovitěho kanálku s deficitem) jsou vyobrazeny oranžovou barvou sloupce, vyšší pak žlutou, výběr barvy však lze změnit v záložce Graph Colors. Vlevo nahoře je zobrazena celková asymetrie polokruhovitých kanálků, vyjádřená v procentech. Anterior (levý přední k pravému přednímu), Lateral (levý boční k pravému bočnímu), Posterior (levý zadní k pravému zadnímu). V levém sloupci, který

je součástí záložky Hex Plot, je možné pomocí zaškrtnutého políčka Show zobrazit výsledky pouze pro vybranou rovinu polokruhovitých kanálků. Zobrazení výsledků testování v hexagramu vyniká svou jednoduchostí a přehledností a usnadňuje tak lékaři orientaci v přehledu vyšetření [5].

4 Evokované potenciály

Evokované potenciály je možno definovat jako změny elektrické aktivity mozku a dalších částí nervové soustavy, které jsou měřeny na základě stimulů z vnějšího prostředí. Jsou tak využívány k diagnostice funkčního stavu nervových drah. V této subsekcí byla použita literatura: [11, 12].

Základní rozdělení EP:

- VEP (zrakové)
- AEP (sluchové)
- SEP (somatosenzorické)
- MEP (motorické)
- SSEP (ustálené)
- ERP (kognitivní)

Snímání všech typů evokovaných potenciálů je založeno na měření EEG signálu a následném vyhodnocení odezvy nervového systému na uměle vyvolanou stimulaci stejné intenzity. Využívá se metody průměrování výsledků velkého počtu stimulů (např. ABR 1000–4000), z důvodu eliminace nežádoucích složek signálu. Sledovány jsou především parametry rychlosti vedení vzruchů, jejich amplituda a tvar.

AEP

Akustické evokované potenciály jsou založeny na stimulaci periferního sluchově rovnovážného nervu (nervus vestibulocochlearis) zvukovým podnětem. Snímání EEG je prováděno elektrodami, rozloženými na povrchu hlavy.

Rozdělení dle délky časové odezvy na EP:

- Krátká latence (SLR) 0–15 ms (Elektrokochleografie, ABR)
- Střední latence (MLR) 15–100 ms (MERA, SSEP, VEMP)
- Dlouhá latence (LLR) 100–250 ms (CERA)

Rozdělení základních typů AEP:

- ABR

Vyšetření je založeno na hodnocení potenciálů z mozkového kmene.

- Elektrokochleografie

Slouží k záznamu potenciálů z hlemýždě

- MERA

Kvůli vlivu svalových artefaktů se v praxi nevyužívá.

- SSEP

Tato metoda neumožňuje popis sluchové dráhy.

- VEMP

Používá se k vyšetření otolitických orgánů (sacculus a utricle).

- CERA

Měření evokovaných potenciálů z mozkové kůry.

5 Vestibulární evokované myogenní potenciály (VEMP)

Vyšetření pomocí vestibulárních evokovaných svalových potenciálů umožňuje diagnostiku stavu přední části vestibulárního nervu, který v této oblasti inervuje vejčitý a kulovitý váček. Vestibulární evokované myogenní potenciály se dělí na krční VEMP (cervical VEMP, cVEMP) a oční VEMP (ocular VEMP, oVEMP). V této kapitole byly informace čerpány z následujících pramenů: [13–15, 32–35].

5.1 cVEMP

Krční vestibulární evokované potenciály umožňují diagnostiku přední části dolního vestibulárního nervu (nervus vestibularis inferior) včetně kulovitého váčku (sacculus). Metoda cVEMP byla poprvé popsána na konci 20. století. Krční VEMP lze stimulovat akusticky, vibracemi nebo galvanicky. Pacient při vyšetření leží na zádech s hlavou otočenou na opačnou stranu, než je testované ucho. Důvodem je vytvoření napěťové aktivity svalu, která je nezbytná pro snímání potenciálů. Stimuluje se pomocí sluchátek tóny či kliky o frekvenci kolem 500 Hz s intenzitou přibližně 90 dB nHL. Měření obvykle probíhá pomocí dvou aktivních elektrod (existuje také varianta s jedinou aktivní elektrodou), připojujících se na kývač hlavy (musculus sternocleidomastoideus), jedné referenční elektrody na horním okraji sternu a jedné zemní elektrody, umístějí se nad nosem na spodní straně čela. Na výsledném grafickém záznamu reakcí svalu na stimuly by měla být vlna P1 (p13), což je počáteční pozitivní potenciál cVEMP odpovědi, viditelná přibližně se zpožděním 13 ms. Negativní potenciál, vlna N1 (n23), by ji měl následovat za dalších zhruba 10 ms. Pokud amplitudová asymetrie mezi levým a pravým uchem přesáhne 35 %, je tento stav označován za deficit vyšetřované oblasti (viz tabulka č. 3), přičemž postižena je strana se sníženou amplitudou. Algoritmus výpočtu amplitudové asymetrie je popsán níže.

Tabulka 3: Hodnocení stavu vejčitého váčku na základě hodnoty AAR

AAR	Význam
< 36 %	správně fungující vejčitý váček
> 35 %	dysfunkce vejčitého váčku

5.2 oVEMP

Oční vestibulární evokované myogenní potenciály jsou odpovědi, reprezentující vestibulookulární reflex. Slouží k vyšetření přední části horního vestibulárního nervu (nervus vestibularis superior) a přilehlého vejčitého váčku (utricleus). Do současné podoby byla tato metoda poprvé popsána na začátku 21. století. Stimulace je stejně jako u krčních VEMP možná akusticky, vibračně či galvanicky. Nejčastější způsob stimulace je pomocí zvukových signálů o frekvenci 500 Hz s intenzitou 90 dB nHL. Měření obvykle probíhá pomocí dvou aktivních elektrod, umístěných pod očima (pro snímání okohybných svalů), jednou referenční elektrodou na bradě a zemní elektrodou na čele. Pacient by měl během vyšetření sedět a konstantně

fixovat upřený pohled přibližně 35° nad sebe. Výsledky vyšetření jsou prezentovány v podobě grafů, kde jsou zaznačeny jednotlivé vlny, jako odpovědi na vyvolaný stimul. Podstatná je velikost vlny N1 (n10), jež by měla být, coby počáteční negativní potenciál, viditelná přibližně se zpožděním kolem 10 ms, pozitivní vlna P1 pak se zpožděním cca 15 ms. Klíčovým a rozhodujícím parametrem je asymetrie amplitudy vln P1 a N1 mezi levou a pravou stranou. Za dysfunkci je považována hodnota asymetrie větší než 33 % (viz tabulka č. 4).

Tabulka 4: Hodnocení stavu kulovitého váčku na základě hodnoty AAR

AAR	Význam
< 34 %	správně fungující kulovitý váček
> 33 %	dysfunkce kulovitého váčku

Algoritmus výpočtu asymetrie (Amplitude Asymmetry Ratio neboli AAR) VEMP testu mezi levým a pravým uchem (udávané v procentech) je následující:

$$\left(\frac{\text{amplituda vlevo} - \text{amplituda vpravo}}{\text{amplituda vlevo} + \text{amplituda vpravo}} \right) \times 100 \quad (2)$$

6 Kmenové evokované potenciály (ABR)

Jedná se o objektivní metodu vyšetření kmenových evokovaných potenciálů (ABR (Auditory Brainstem Response), BERA (Brainstem Evoked Responses Auditory), BAEP (Brainstem Auditory Evoked Potentials)), která byla poprvé popsána roku 1971 a slouží pro diagnostiku lézí postihujících sluchový nerv a také ke stanovení poruch sluchu u dětských pacientů. Je založena na snímání změn elektrických potenciálů vyvolaných zvukovým stimulem v různých úrovních sluchové dráhy pomocí povrchových elektrod. Po zvukové stimulaci dochází ke zpracování zvuku v různých úrovních sluchové dráhy a podle toho, v jaké vzdálenosti od vnitřního ucha se nachází daná anatomická struktura, mění se latence její odpovědi. Při ABR vyšetření se zaznamenávají odpovědi na zvukové podněty v průběhu sluchové dráhy od hlemýžďe po mozkový kmen. Jejich latence je menší než 10 ms (patří mezi evokované potenciály s krátkou latencí) a amplituda přibližně 1 mV. Potenciálové změny jsou vyvolané aktivitou ve vnitřním uchu, sluchovém nervu a jádrech mozkového kmene.

Během vyšetření leží pacient na zádech, má sluchátka nasazená na obě uši, přičemž do ucha, z něhož se snímá odpověď, jsou puštěny zvukové stimuly a do kontralaterálního, kde je umístěna kontralaterální referenční elektroda pak maskující zvuk. Snímání potenciálů je měřeno povrchovými elektrodami se zesilovači. Měření obvykle probíhá za použití čtyř elektrod. Aktivní elektroda na horní části čela, zemnicí elektroda na spodní části čela a dvě referenční elektrody co nejbližší obou bradavkových výběžků za ušními boltci. Jako zvukový stimul se nejčastěji používá klik (filtrovaný či nefiltrovaný), někdy se může použít i frekvenčně specifitější krátký tón (tzv. tone-pip) nebo tzv. tone burst stimul. Při vyšetření ABR se hodnotí latence a amplituda. Jak velikost amplitudy, tak i délka latence je ovlivněna intenzitou stimulu. Při vyšetření sluchového prahu je však nutné brát v úvahu frekvenci opakování jednotlivých stimulů. Pokud je totiž neúměrně zvýšena frekvence, dojde ke splnutí kliků v jednotlivý zvuk, což může snížit naměřenou úroveň prahu sluchu. Při postupném snižování intenzity stimulu jsou ztraceny jednotlivé pozitivní vlny a na úrovni prahu je většinou přítomna jen vlna V. Takto se podaří určit práh sluchu na frekvencích 1–4 kHz s největší citlivostí okolo 3 kHz. Při záznamu vyšetření je celkově definováno sedm vln v závislosti na úrovních sluchové dráhy:

- 1. vlna – periferní část sluchového nervu (latence < 2 ms)
- 2. vlna – proximální část sluchového nervu či kochleární jádra (latence < 3 ms)
- 3. vlna – nukleus olivaris superior (latence < 4 ms)
- 4. vlna – lemniscus lateralis (latence < 5 ms)
- 5. vlna – colliculus superior (latence < 6 ms)
- 6. a 7. vlna – jejich vznik není zcela objasněn, většinou velice nevýrazné

Z hlediska výbavnosti jednotlivých vln je konstantně výbavná první, třetí a pátá vlna, kdežto druhá a čtvrtá vlna je konstantně nevýbavná. Všechny vlny mají definované své normativní hodnoty, dle nichž je stanoven jejich funkční stav.

Podstatné jsou následující mezivrcholové intervaly, dle oblasti výskytu:

- 1. až 3. vlna – periferní oblast

- 3. až 5. vlna – centrální oblast
- 1. až 5. vlna – celková oblast

V softwaru dochází k vyhodnocení přítomnosti vln I–V, jejich amplitudy a latence. Následně jsou analyzovány jednotlivé parametry (absolutní latence I, II, III, IV, V, mezivrcholové intervaly I–III, III–V, I–V v ms, amplitudy I–V v μV). Čtyři základní parametry ABR vyšetření při stimulaci 85 dB nHL:

- Fyziologická absolutní latence vlny V je přibližně 5.5 ms
- Amplituda vlny V je přibližně 0.5 μV
- Maximální mezivrcholová latence I–V u zdravého dospělého je 4.5 ms.
- Maximální mezivrcholová latence I–V u zdravého novorozence je 5.0 ms.

Naměřené hodnoty jednotlivých parametrů jsou graficky porovnány s normativními hodnotami, které jsou definovány pro závislost mezi intenzitou stimulu a latencí vlny V.

6.1 Nález ABR při různých poruchách sluchu

Z výsledků vyšetření ABR je možné rozlišit různé typy poruch.

6.1.1 Převodová porucha sluchu

Při stimulaci klikem dochází k prodloužení absolutních latencí všech vln, přičemž mezivrcholové latence jsou v normě. V porovnání s normálním nálezem probíhá křivka paralelně, ale je posunutá do vyšších hodnot intenzit stimulace.

6.1.2 Kochleární porucha sluchu

Křivka závislosti latence vlny V od intenzity stimulu je buď v rozsahu normálních hodnot nebo se zobrazuje mírné prodloužení latence při prahových intenzitách stimulu, přičemž typ audiogramu ovlivňuje tvar křivky. Nedochozí k prodloužení mezivrcholových latencí I–III, I–V ani latence I, V, ale bývá přítomno snížení amplitudy vlny I.

6.1.3 Retrokochleární porucha sluchu

Pro retrokochleární poruchu sluchu je typické prodloužení latence vlny V, prodloužení mezivrcholové latence I–V, meziušní asymetrie, absence některých vln (III–V), nedostatek ABR odpovědi v případě normálního sluchu nebo lehké poruchy sluchu. Použitými zdroji v této kapitole jsou: [16, 17, 36, 37].

7 ICS Chartr® EP 200

Přístroj pro komplexní měření sluchových a vestibulárních poruch. Umožňuje připojení k notebooku pomocí USB a pro vyšetření VEMP slouží stejnojmenný monitor s možností sledování EMG signálu. K dispozici jsou následující testy:

- ABR (BERA)
- Elektrokocheleografie
- ALR/LLR
- AMLR
- VEMP
- P300
- ASSR

Podstatnou výhodou je společná databáze pro všechny zmíněné testy. Při VEMP vyšetření se využívá měřicí řetězec, skládající se z předzesilovače, samotného přístroje ICS Chartr® EP 200 a notebooku. Elektrody, sluchátka a VEMP monitor jsou připojeny k předzesilovači.

Po spuštění programu ICS Chartr® EP je zobrazeno okno Operator Login, v němž má uživatel možnost zvolit stávajícího pacienta či vložit do systému nového pacienta. Je možno vyplnit jméno, příjmení, adresu, město, stát, telefonní číslo, případně zvolený identifikátor. Poté je nový pacient uložen do databáze (viz obr. 6).

Select patient from archive/export database 'chartrdemo.mdb'

Patient Name	Last Tested	EP Data	VNG Data	ENG Data	Birthdate	DB#
Demo 1, Normal VNG	3/7/2007		*	*	8/26/1969	16
Demo 2, Normal ENG	10/10/1997		*	*	9/4/1960	11
Demo 3, BPPV VNG	8/31/2001		*	*	1/1/1950	9
Demo 4, Uw VNG	3/26/2007		*	*	6/24/1952	17
Demo 5, CNS VNG	5/3/2007		*	*	2/21/1928	18
Demo 6, Baseline Shift	7/19/2007		*	*	5/12/1938	24
Demo 7, Adult ABR	8/8/2008	X			10/2/1984	19
Demo 8, Infant Click	9/9/2000	X			7/19/2000	3
Demo 9, Electrocochleography	8/14/2008	X			8/3/1988	20
Demo 10, MLR	12/3/2008	X			3/24/1954	26
Demo 11, P300	9/3/2008	X			6/2/1957	25
Demo 12, VEMP	8/14/2008	X			8/3/1988	22
Demo 13, Normal ASSR	6/18/2004	X			4/25/2004	14
Demo 14, Conductive ASSR	6/18/2004	X			5/18/2004	13
Demo 15, EP System Dx Test	8/15/2008	X			3/6/1980	23

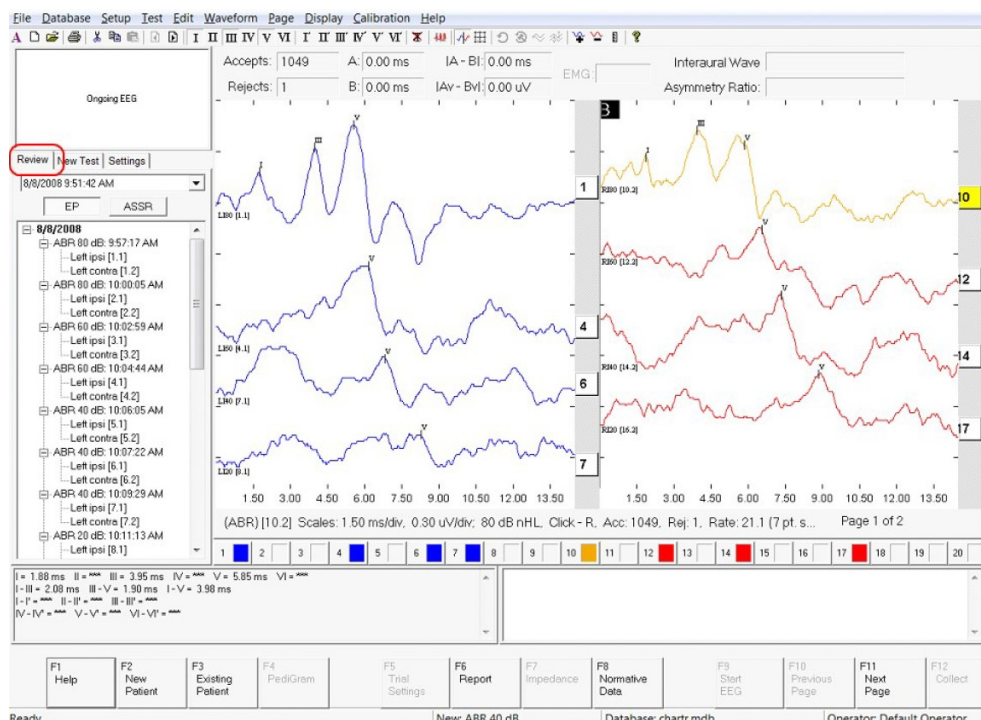
* These patients have historic sessions and cannot be distinguished as ENG or VNG.

Open Cancel Help

Obrázek 6: ICS databáze [20]

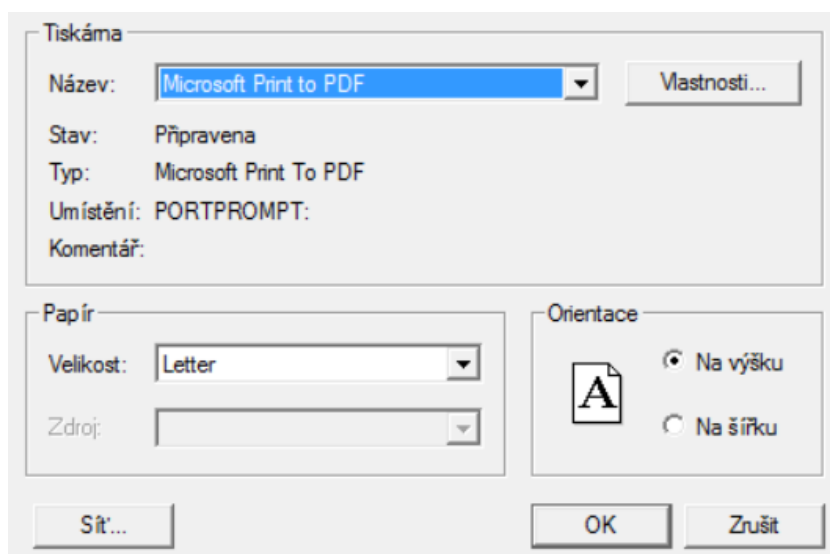
U vybraného pacienta z databáze je možno pomocí záložky Review (viz obr. 7) zobrazit minulé vyšetření nebo zahájit nové (záložka New Test) a to pro VEMP, ABR (BERA), ASSR, AMLR, ALR nebo EcochG. Nabídka typů VEMP vyšetření nabízí následující možnosti:

stimulace vzduchem pomocí kliku nebo tónu, stimulaci kostním vedením (vibracemi), které se týkají cVEMPu, další možností je samotné oVEMP měření. Po rozkliknutí některé z výše zmíněných variant je výběr potvrzen tlačítkem Trial Settings, který slouží k nastavení požadovaných parametrů. Zahájit testování je možné pomocí tlačítka Start VEMP Monitor a následně Collect. Vypnutí pak ikonou Stop VEMP Monitor.



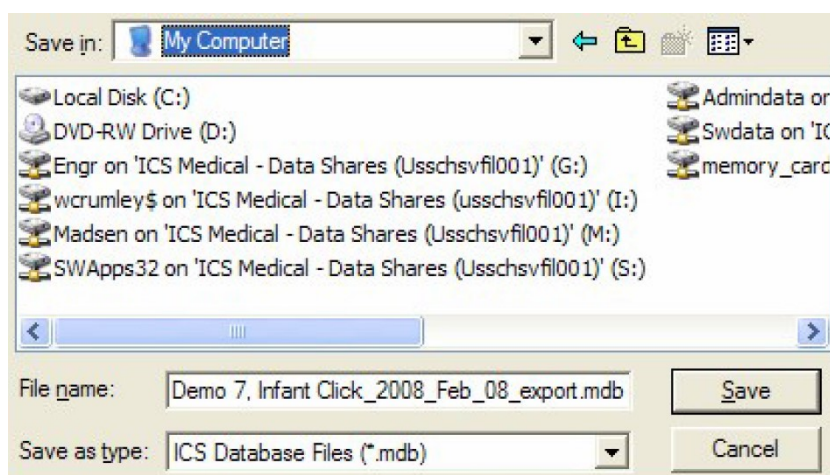
Obrázek 7: Okno s výsledky ABR vyšetření se zvýrazněnou záložkou Review [20]

V samotném grafickém okně s výsledky testování jsou k dispozici tlačítka pro posouvání stránek, markery P1, N1, P2, vymazání markerů, rozdělovač okna (Split) a mřížka (Grid). Markerem P1 se ručně označuje první vrchol vlny, N1 opačný vrchol této vlny a markerem P2 návrat do původních hodnot před stimulací. Rozdělovač okna je k dispozici pro oddělení grafu levého a pravého vestibulárního ústrojí. V záložce File je k dispozici možnost uložení reportu z vyšetření v podobě různých formátů (PDF, XPS) na externí disk a k nim náležící nastavení pro tisk (viz obr. 8).



Obrázek 8: Okno pro uložení dokumentu v daném formátu a tisk

Záložka Database umožňuje export či import pacientů mezi databázemi či externím diskem. Systém pracuje s databázovým soubor .mdb (viz obr. 9). Okno Setup nabízí řadu nastavení týkajících se osobních dat pacienta a samotného protokolu vyšetření. V okně test se nachází potřebné ovladače k řízení zvoleného typu vyšetření. Okno Edit nabízí možnost upravit obsah reportu z vyšetření. Záložka Waveform slouží k manipulaci s křivkami během testování. Funkce Spread zajišťuje zarovnání vzdáleností všech naměřených křivek, funkce Merge umožňuje třídít křivky na základě strany stimulace a její intenzitě, sběrném kanálu a frekvenci tónu. Pomocí funkce Display Scale je měněna citlivost zobrazení naměřených vln, a to v rozsahu 0.2–200 μV . Funkce Smooth umožňuje vyhlazení křivek podle bodů. K dispozici je škála 7–23 bodů. Jedna z dalších funkcí UnSmooth slouží k navrácení původního tvaru křivky před vyhlazením.



Obrázek 9: Okno pro exportování databázových souborů .mdb [20]

Dalším oknem je Page, které zajišťuje přepínání jednotlivých stránek. V záložce Display je měněno zobrazení. Jedná se například o mřížku, změnu stylu písma, změnu jednotky obálky (cykly nebo milisekundy), jednotky intenzity (nHL nebo SPL) či mimo jiné exportovat křivky do textového formátu. Okno Calibration slouží k nastavení parametrů kalibračního procesu a je také možno jednotlivé tony importovat či exportovat. Záložka Help nabízí možnost otevření uživatelského manuálu a informace o systému. V tomto oddílu byly použity tyto zdroje: [18–20].

8 Praktická část

Úvod praktické části je věnován náhledu do klinické praxe Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy v Ostravě-Porubě, využívající k vyšetření jednotlivých orgánů vnitřního ucha a jejich inervace přístrojovou techniku firmy GN Otometrics. Zabývá se problematikou sjednocení informací ze tří typů vyšetření pro mapování funkce sluchově rovnovážného nervu a následné stanovení diagnózy. Jsou zde zmíněny hlavní nevýhody současného řešení zmíněné analýzy, jež se snaží eliminovat navržený software.

Hlavním bodem praktické části je návrh a realizace SW VestibularID. Software byl vyvinut v programovacím jazyce C#, respektive grafickém rozhraní Windows Presentation Foundation (WPF). Součástí aplikace je relační databázový systém SQLite. Z tohoto důvodu je část práce věnována základnímu popisu technologií WPF a SQLite. Samotný návrh embedded databáze je představen v kapitole 10.3. Je zde mimo jiné popsán systém exportu dat do databáze a jejich struktura.

Důležitou součástí práce je ozřejmění principu zpracování a nakládání s daty z vyšetření vHIT, VEMP a ABR v softwaru VestibularID. V příslušných kapitolách je uveden popis sledovaných parametrů, které jsou do navržené aplikace importovány. Ke každému ze zmíněných vyšetření bylo vytvořeno přehledné schéma, napomáhající v orientaci v této problematice. Podstatná a obsahově rozsáhlá kapitola 10.7 je věnována základnímu popisu aplikace a jejímu průběhu z pohledu uživatele. Nachází se zde popis od samotného přihlášení uživatele do aplikace, přes vyhledávání v databázi pacientů, práce s jednotlivými okny vyšetření vHIT, VEMP, ABR a zobrazenými parametry, které musí lékař ověřovat pro platnou kompletizaci testu, až po uložení výsledné diagnózy, zobrazující se v aplikaci rovněž v grafické podobě, a jednotlivých parametrů testování do SQLite embedded databáze s možností exportu do strukturovaného PDF reportu.

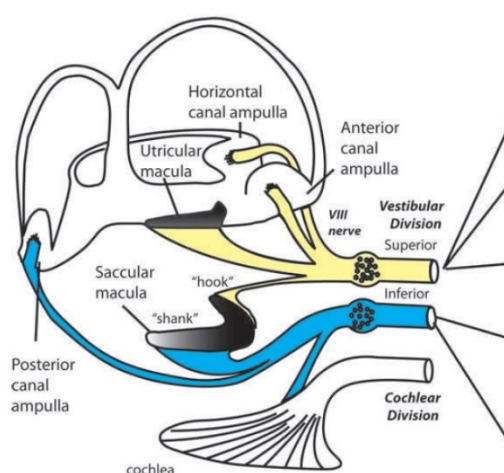
V kapitole 10.8 lze nalézt informace k algoritmu a terminologii použité při prezentování výsledných diagnóz vnitřního ucha. V textu je pro úplnost opakovaně uvedena struktura větvení sluchově rovnovážného nervu, která je klíčová při sestavování mozaiky informací z dílčích vyšetření. Je zde vysvětlena zvolená podoba vizualizace inervační struktury vnitřního ucha a systém odborné lékařské terminologie k interpretaci diagnóz orgánů a nervů vnitřního ucha, podložený názornou ukázkou vybrané diagnózy pomocí přehledného schématu.

Prostor v praktické části práce je vyhrazen rovněž testování softwaru v klinické praxi. Algoritmus byl ověřen u 24 probandů, kteří podstoupili vyšetření vHIT, cVEMP, oVEMP a ABR. V tabulkách jsou popsány jednotlivé sledované parametry, zahrnuté do analýzy s výsledky jednotlivých vyšetření, dále informace o stanovené diagnóze algoritmem navrženého softwaru s celkovými výsledky deficitu a k nim rozbor z pohledu postižených orgánů a nervů vnitřního ucha či diagnostikované vestibulopatie a neuropatie.

9 Klinická praxe

Centrum pro poruchy sluchu a rovnováhy v Ostravě-Porubě mělo v roce 2014 jako první v ČR možnost vyšetření vnitřního ucha kombinací tří inovativních testů pomocí moderní přístrojové techniky společnosti GN Otometrics®. Díky ní může lékař objektivně posoudit funkci jednotlivých orgánů (šesti polokruhovitých kanálků, čtyř otolitických orgánů a dvou hlemýžďů) vnitřního ucha a jejich inervaci. K tomu, aby bylo možné nahlížet na inervaci vnitřního ucha jako celek, je nutné sestavení mozaiky z výsledků jednotlivých subvyšetření. Tento proces zpracování informací však není dosud efektivně řešen a je pro lékaře poměrně náročný. Následující text popisuje obvyklý postup lékaře v současné klinické praxi při vyšetření inervační struktury vnitřního ucha.

Pro vyhodnocení stavu rovnovážného nervu lékař postupně provede vyšetření vHIT, cVEMP a oVEMP. Poté analyzuje výsledky ve dvou programech příslušných testů. Jedná se o OTOsuite® Vestibular (vHIT) a ICS Chartr® EP 200 (cVEMP a oVEMP), kde pomocí hodnot a grafů posoudí funkci jednotlivých suborgánů a jejich inervace. Následně pracuje s vytištěnými poznámkami na papíře (viz obr. 10), pomocí nichž dosazuje zjištěné informace do tabulky, jejímž výsledkem je základní stanovení rozsahu dysfunkce příslušné oblasti vestibulárního nervu. Konkrétně lze pomocí této tabulky diagnostikovat horní vestibulární neuritidu, dolní vestibulární neuritidu a jednostrannou vestibulární poruchu. Tabulka tak umožňuje interpretaci pouze úzkého výběru diagnóz a v případě ostatních kombinací možného výskytu dysfunkce příslušných orgánů vnitřního ucha a jejich inervace je lékař odkázán na individuální zápis a posouzení výsledků, což je vzhledem k množství dat, která je potřeba správně zasadit do kontextu inervační struktury rovnovážného ústrojí, velice komplikované. V případě, že lékař potřebuje vyhodnotit kompletní sluchově rovnovážný nerv, musí do analýzy zahrnout rovněž výsledky z vyšetření ABR, které se zabývá testováním funkce kochleárního nervu a hlemýžďe. Analýzu provádí v softwaru ICS Chartr® EP 200. Výhodou je, že nemusí pracovat s dalším, třetím, softwarem, nicméně i přesto je zařazení výsledků do celkového kontextu velmi nekomfortní, nepřehledné a náročné na pozornost lékaře, což zpomaluje celý proces vyšetření. Jak je patrné, stejný postup musí lékař provést pro každé vyšetření. Vzhledem k absenci elektronického záznamu a uložení dat v databázi, stejně tak samotného automatizovaného vyhodnocení a sjednocené diagnostické terminologie, jsou možnosti lékaře významně omezené. V případě, že chce lékař porovnat současný stav s předchozím testováním, je postup ještě komplikovanější [29].



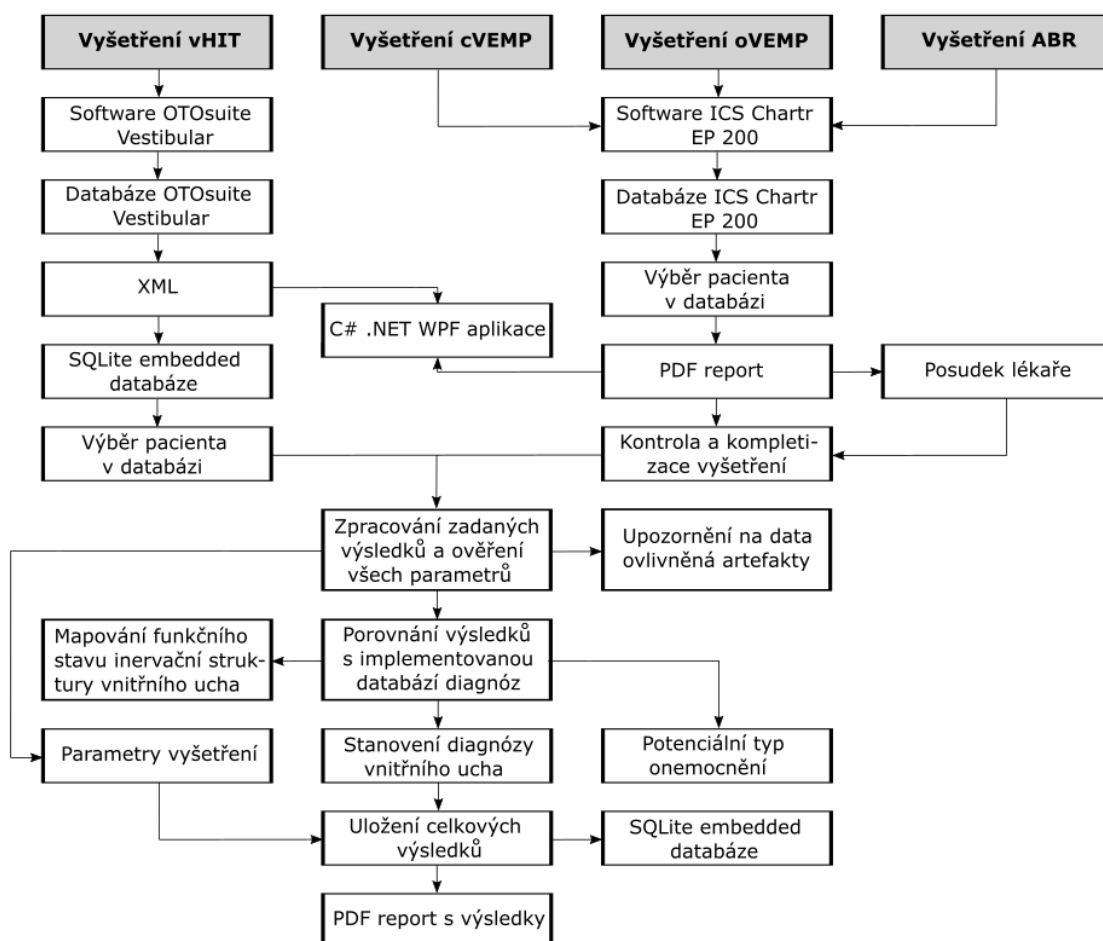
Clinical Test	Healthy Subject	Superior Vestibular Neuritis	Inferior Vestibular Neuritis	Unilateral Vestibular Loss
Horizontal head impulse test: head turn to ipsilateral side - tests ipsilateral horizontal canal	✓	✗	✓	✗
Pitch head impulse test in the plane of the ipsilateral anterior canal, head turn nose down - tests ipsilateral anterior canal	✓	✗	✓	✗
oVEMP n10 beneath the contralateral eye to bone conducted vibration at Fz, or air-conducted sound of one ear - tests utricular macula of the ear opposite to the eye	✓	✗	✓	✗
cVEMP p13-n23 over the ipsilateral sternocleidomastoid (SCM) muscle to bone conducted vibration at Fz, or air-conducted sound of one ear - tests saccular macula of the ear on the same side	✓	✓	✗	✗
Pitch head impulse test in the plane of the ipsilateral posterior canal, head turn nose up - tests ipsilateral posterior canal	✓	✓	✗	✗

✓ = Normal Response ✗ = Abnormal Response

Obrázek 10: Orientační tabulka lékaře [29]

10 Návrh a realizace SW VestibularID

Software VestibularID, využívající informace ze tří vyšetření, byl navržen vzhledem k přístrojovému vybavení Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy v Ostravě-Porubě. Vyšetření vHIT je v tamní ambulanci prováděno pomocí přístroje ICS Impulse® s podporou softwaru OTOSuite® Vestibular. Pro vyšetření VEMP a ABR je použit přístroj ICS Chattr® EP 200 se stejnojmenným softwarem. Oba přístroje byly vyvinuty společností GN Otometrics®.



Obrázek 11: Schéma návrhu softwaru VestibularID

10.1 Windows Presentation Foundation

Windows Presentation Foundation (WPF) je moderní grafické rozhraní pro návrh a zobrazování uživatelského prostředí v operačním systému Windows. WPF je od roku 2006 součástí .NET frameworku (od verze 3.0). Jedná se o nástupce starší technologie Windows Forms, která již byla součástí .NET frameworku verze 1.0. Díky grafickému rozhraní, založenému na technologii Direct3D, má vývojář k dispozici pokročilé nástroje nejen co se týče 3D grafiky, ale také animací, audia či videa. Komplexní objektový model zajišťuje mnohem lepší kontrolu nad elementy. Díky vektorovým transformacím je možno dosáhnout nezávislosti

na rozlišení zobrazovacího zařízení. WPF obsahuje sadu sofistikovaných komponent, které usnadňují kontrolu nad správným rozložením ovládacích prvků i při změně velikosti celého formuláře a vnitřních elementů. Významnou roli má ve WPF funkce binding, pomocí níž lze vázat vlastnosti nejen datových objektů na uživatelské prostředí, ale také zajišťovat jednodušší logiku uživatelského prostředí bez nutnosti psát kód. WPF umožňuje efektivně měnit vzhled i funkčnost již existujících prvků.

Jedním z hlavních rozdílů mezi WPF a Windows Forms je využití jazyku XAML pro oddělení kódu a vzhledu aplikace. XAML (Extensible Application Markup Language) je deklarativní jazyk založený na principu XML (Extensible Markup Language). Primárně je určený k návrhu uživatelského prostředí v technologiích WPF a Silverlight. Nicméně jeho využití je širší, slouží například k definování konfigurace aplikace nebo popisu procesů (v technologii Workflow Foundation). XAML usnadňuje zápis, zároveň však nenabízí z hlediska programování jiné možnosti, než je tomu například u jazyka C#. Pomocí jazyka XAML lze definovat objekty a jejich vlastnosti, přičemž ve WPF slouží primárně k sestavení objektového stromu elementů uživatelského prostředí, jelikož pracuje s objektovým modelem .NET. A to buď s komponenty, dodávané s .NET frameworkem, nebo s jakoukoliv knihovnou, na kterou se lze pomocí XML namespace z XAML souboru odkázat [42–44].

10.2 Relační databázový systém SQLite

SQLite je relační databázový systém, obsažený v jedné malé knihovně. Poprvé byl představen v roce 2000 a jeho použití je rozšířeno v rámci celé řady programovacích jazyků, jako je C, C++, C#, PHP, Java, Python, Delphi, Perl atd. Zásadní výhodou je rychlost a šetrnost k paměti zařízení. Výhodou je rovněž snadná použitelnost v rámci aplikace, jelikož SQLite nepracuje na principu klient-server jako jiné databázové systémy, např. MSSQL, kde je databázový server spuštěn jako samostatný proces, ale představuje knihovnu, jež se přilinkuje k aplikaci a lze ji přes jednoduché rozhraní používat. Jelikož se šíří pod licencí public domain, jež reprezentuje volné využívání, je tento systém dostupný zdarma. Databázový systém SQLite je klasická databáze založená na dialektu jazyka SQL. Existují však drobné odlišnosti, kterými se od standardního jazyka SQL liší. Do tabulky nelze vkládat cizí klíč (FOREIGN KEY). Není možné spojovat tabulky typu RIGHT OUTER JOIN, FULL OUTER JOIN. Kontrola datových typů při vstupu neexistuje. Rovněž neexistuje ani datový typ DATE, nýbrž DATETIME. Poslední odlišnost se týká příkazu ALTER TABLE, jenž je omezený (slouží pro manipulaci se strukturou tabulky) [45].

10.3 Návrh databáze

Z hlediska navrženého softwaru, jehož součástí je vlastní SQLite embedded databáze, bylo nutno zajistit snadný export dat z databáze OTOSuite® Vestibular. Export je realizován prostřednictvím XML souborů. V softwaru OTOSuite® Vestibular je každému pacientovi vyhrazen jeden soubor ve formátu XML, pojmenovaný na základě jména a příjmení pacienta a data poslední změny. Databáze OTOSuite® Vestibular je díky místnímu serveru dostupná na všech počítačích ambulance, tudíž je propojení s embedded databází neustále k dispozici.

Jelikož každý soubor XML obsahuje velké množství informací, sloužící mimo jiné pro grafická znázornění gainu v programu OTOsuite® Vestibular, je převedena do embedded databáze pouze vybraná část dat. Jedná se o jméno a příjmení, číselné identifikační údaje, přiřazené danému pacientovi softwarem OTOsuite® Vestibular: PatientUID a PatientGUID. Dále v závislosti na množství a typech zaznamenaných testů u daného pacienta: datum a čas zahájení testování, typ testu, průměrný gain pro levou a pravou stranu (viz tab. 5 a obr. 12).

Tabulka 5: Parsované elementy z XML souborů

Název elementu	Význam
<FirstName>	Jméno
<LastName>	Příjmení
<PatientUID>	Kratší identifikační údaj
<PatientGUID>	Delší identifikační údaj
<StartDateTime>	Datum a čas zahájení testování
<TestType>	Typ testu
<LeftAvgGain>	Průměrný Gain pro levou stranu
<RightAvgGain>	Průměrný Gain pro pravou stranu

Tyto informace, obsažené v jednom XML souboru, jsou využity následovně. Vybráním příslušného souboru ve složce programu OTOsuite® Vestibular dojde k přidání jména a příjmení pacienta do databáze VestibularID. Pod jménem daného pacienta jsou zobrazena data proběhlých vyšetření, konkrétně se jedná o datum, kdy bylo dané testování zahájeno. Po rozkliknutí vybraného data testování dojde k přiřazení příslušných hodnot gainu do kolonek všech šesti polokruhovitých kanálků. Vzhledem k tomu, že jsou ke kompletní diagnostice vnitřního ucha zapotřebí data pro všech šest polokruhovitých kanálků, tzn. gain pro laterální, RALP a LARP rovinu, bylo nutné nastavit zobrazovaný obsah tak, aby se u daného pacienta vždy objevila pouze data vyšetření, ve kterých byly provedeny všechny tři testy. Pokud tato podmínka není splněna, a v některých případech byly vyšetřeny pouze jedna či dvě roviny polokruhovitých kanálků, jsou tato data s neúplným obsahem eliminována a u daného pacienta se tento časový záznam nezobrazí. Při aktualizaci databáze, kdy je do softwaru VestibularID uložen pacient, jenž se tam již nachází (stejně jméno, příjmení a identifikační údaje PatientUID a PatientGUID), dojde ke kompletnímu přepsání starých údajů. Z pohledu uživatele je jedinou zaznamenanou změnou přidání aktuálního data vyšetření do seznamu pod jménem daného pacienta.

```

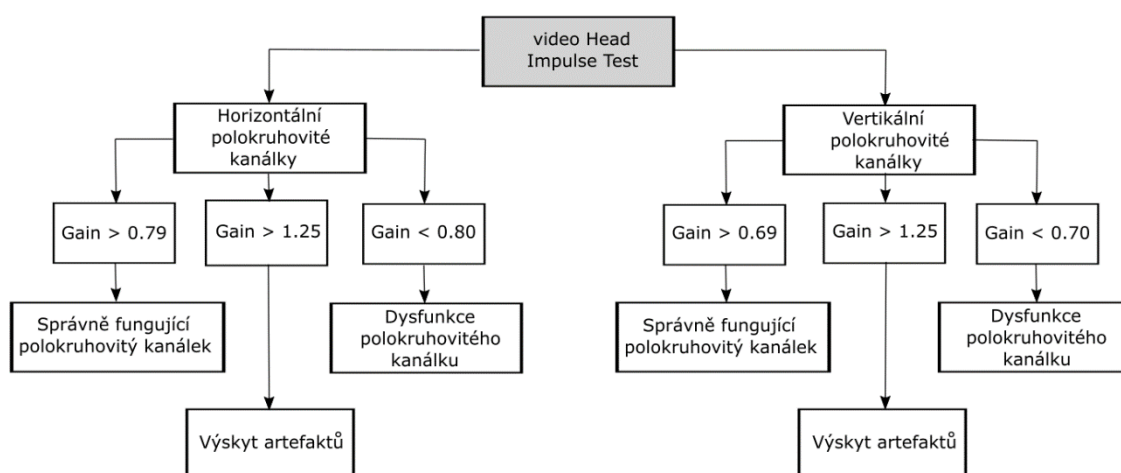
<ICSPatient>
  <PatientUID>810</PatientUID>
  <PatientGUID>4ac520e3-be41-454e-8012-e1f8f4b979d1</PatientGUID>
  <FirstName>Daniel</FirstName>
  <LastName>Franec</LastName>
  <HITest>
    <StartDateTime>2017-12-21T14:57:06.4018785</StartDateTime>
    <LeftAvgGain>99</LeftAvgGain>
    <RightAvgGain>101</RightAvgGain>
    <TestType>Lateral</TestType>
  </HITest>
</ICSPatient>

```

Obrázek 12: Struktura parsovaných elementů z XML souboru

10.4 Zpracování dat z vyšetření vHIT

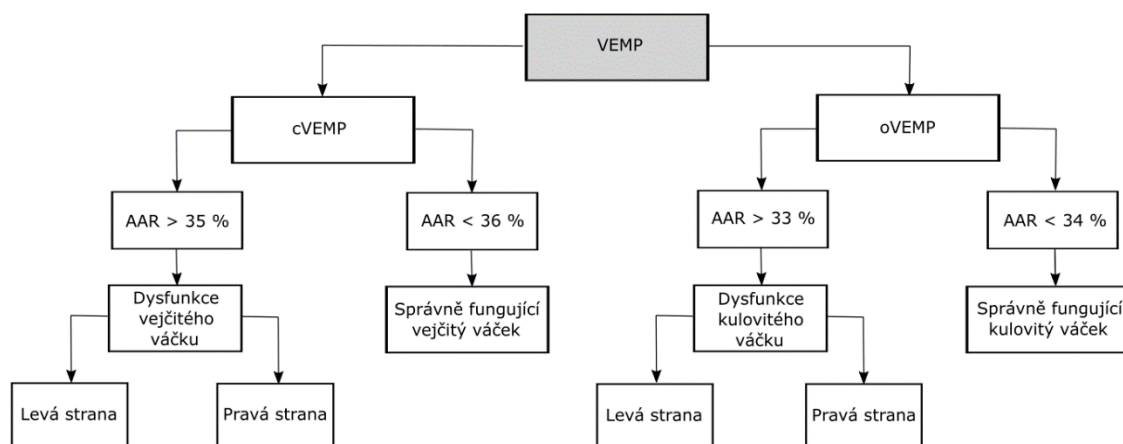
Do SQLite databáze v aplikaci VestibularID jsou uživatelem prostřednictvím souborů XML exportována data, která následně podléhají hodnoticímu algoritmu, jenž kopíruje principy třídění dat v softwaru OTOsuite® Vestibular dle nastavených pravidel firmy GN Otometrics. Principem tohoto členění je klasifikace gainu vestibulookulárního reflexu všech šesti polokruhovitých kanálků dle naměřené a exportované hodnoty. Je nicméně nutné respektovat rozdílné hodnocení pro horizontální a vertikální kanálky. Pro horizontální polokruhovité kanálky je hranice dysfunkce stanovena na hodnotu gainu menší než 0.80. U vertikálních polokruhovitých kanálků je tento limit deklarován na hodnotu gainu menší než 0.70. Ve výjimečných případech (nesprávné upevnění brýlí, nedodržení předepsané vzdálenosti pacienta od fixačního bodu atd.) se ve výsledcích vyšetření vyskytuje rovněž výrazněji zvýšená hodnota gainu. Proto je překročení této bezrozměrné hodnoty nad 1.25 považováno za výsledek testu ovlivněný artefakty [8].



Obrázek 13: Algoritmus vyhodnocení vyšetření vHIT

10.5 Zpracování dat z vyšetření VEMP

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, věnující se problematice vestibulárních evokovaných myogenních potenciálů, kompletní vyšetření obou větví přední části vestibulárního nervu (nervus vestibularis superior et inferior) vyžaduje provedení dvou odlišných typů VEMP testů. Prvním z nich je krční VEMP (cVEMP), jenž umožňuje diagnostiku přední části horní větve vestibulárního nervu (nervus vestibularis superior), která v této oblasti zajišťuje inervaci vejčitého váčku (utricleus). Druhým typem testu je oční VEMP (oVEMP). Touto metodou je možné vyšetřit přední část dolní větve vestibulárního nervu (nervus vestibularis inferior) a díky společné inervaci také kulovitý váček (sacculus). Z hlediska následné analýzy testů je pro lékaře podstatná amplitudová asymetrie mezi levým a pravým uchem, tzv. Amplitude Asymmetry Ratio či AAR. Zpracování dat z vyšetření je až do tohoto kroku (výpočet hodnoty AAR) v kompetenci softwaru ICS Chartr® EP 200. Poté je parametr AAR, udávaný v procentech, zadán do programu VestibularID. V něm dochází ke klasifikaci AAR dle naměřené asymetrie. Hodnocení AAR je odlišné pro oba typy vyšetření. Zatímco u cVEMP testu je dysfunkce příslušného otolitického orgánu a jeho inervace diagnostikována v případě překročení hodnoty asymetrie mezi levou a pravou stranou 35 %, při vyšetření oVEMP je touto hranicí 33 %. Pokud je asymetrie vyšší než zmíněné hodnoty, je vyžadováno posouzení lékaře, zda se snížená funkce týká levé či pravé strany. Lékař rozhoduje na základě naměřených dat v softwaru ICS Chartr® EP 200 [14, 15].

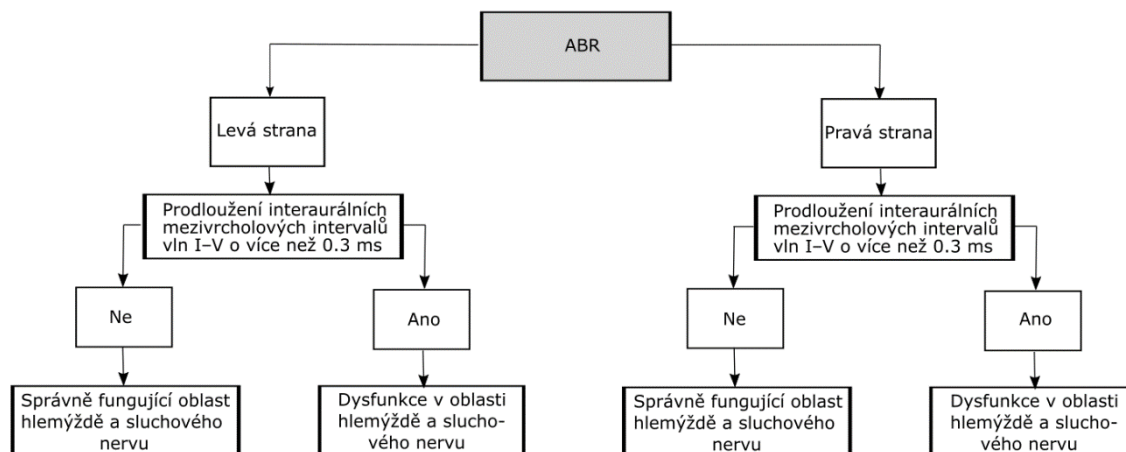


Obrázek 14: Algoritmus vyhodnocení vyšetření VEMP

10.6 Zpracování dat z vyšetření ABR

Vyšetření kmenových evokovaných potenciálů je součástí softwaru ICS Chartr® EP 200. Sledovaným parametrem tohoto testu je signifikantní prodloužení interaurálních mezivrcholových intervalů vln I–V (o více než 0.3 ms). Úkolem lékaře je pomocí programu ICS Chartr® EP 200 posoudit, zda je výše zmíněné prodloužení signifikantní. Software VestibularID tedy u tohoto typu vyšetření nepracuje s číselnými údaji, nýbrž rovnou s posudkem lékaře o přítomnosti diagnosticky významného prodloužení latencí. Pokud je prodloužení latence větší

než 0.3 ms, vykazuje oblast sluchového nervu celého mozkového kmene deficit. V opačném případě, kdy je prodloužení latence menší než 0.3 ms, je na daná oblast bez náznaku dysfunkce [41].



Obrázek 15: Algoritmus vyhodnocení vyšetření ABR

10.7 Základní popis aplikace

Po spuštění aplikace VestibularID je zobrazeno přihlašovací okno, kde je po uživateli vyžadováno vyplnění identifikačních údajů. Hlavní okno programu (viz obr. 16) zahrnuje databázi uložených pacientů, záložky pro zobrazení aktuálně sledovaných hodnot z vyšetření vHIT, VEMP a ABR u vybraného pacienta, a záložku s celkovými výsledky v podobě znázornění grafické struktury innervace vnitřního ucha s textovým popisem zjištěné symptomatické diagnózy. Po rozkliknutí vybraného data vyšetření u daného pacienta se v okně vHIT zobrazí hodnoty gainu u všech šesti polokruhovitých kanálků, rozdělených dle tří rovin testování (laterální, RALP a LARP). V systému klasifikace stavu polokruhovitých kanálků a jejich innervace je nutné respektovat rozdílné hodnocení pro horizontální a vertikální kanálky. Rozhodujícím parametrem je tzv. gain vestibulookulárního reflexu, což je podíl naměřených rychlostí očí a hlavy. Ideální bezrozměrná normativní hodnota gainu činí 1. Vlivem přítomnosti korekčních sakád se tato hodnota snižuje. V případě gainu menšího než 0.8 u horizontálních kanálků, respektive 0.7 u vertikálních kanálků, se jedná o dysfunkci v dané oblasti nervu. Okno vyhrazené vyšetření VEMP je rozděleno na dvě části: cVEMP a oVEMP. Hlavním parametrem vyšetření VEMP je amplitudová asymetrie mezi levým a pravým uchem, tzv. Amplitude Asymmetry Ratio či AAR, udávaná v procentech. Klasifikace AAR je odlišná pro oba typy vyšetření. Pokud je hodnota AAR v kolonce cVEMP testu vyšší nebo rovna 36 %, musí lékař označit stranu dysfunkce. Vyšetřující posuzuje stranu dysfunkce na základě naměřených dat v softwaru ICS Chart® EP 200. Jedná se totiž o hraniční asymetrii, která naznačuje sníženou funkci kulovitého váčku (sacculus) a jeho innervace. Pokud uživatel zadá hodnoty nad touto hranicí a zároveň neoznačí stranu dysfunkce, zobrazí se chybová hláška a je požádán o nápravu. Stejným způsobem funguje kolonka vyhrazená vyšetření oVEMP s tím rozdílem, že v případě hodnoty AAR vyšší nebo rovné 34 %, musí uživatel opět rozhodnout stranu dysfunkce.

Překročení tohoto limitu naznačuje sníženou funkci vejčitého váčku (utricle) a jeho inervace. V případě nezadání strany deficitu je rovněž upozorněn chybovou hláškou. Okno pro vyšetření ABR je koncipováno pro maximální usnadnění zadávání potřebných údajů lékařem. V případě, že chceme získat informace o celé oblasti sluchového nervu, je nutné vyhodnotit interaurální prodloužení mezivrcholových intervalů vln I–V. Klíčovým parametrem tohoto vyšetření je tedy výskyt signifikantního interaurálního prodloužení mezivrcholových intervalů vln I–V (o více než 0.3 ms). Po rozhodnutí lékaře je zatrhnuta kolonka ano (tzn. existuje signifikantní prodloužení intervalů) či ne (tzn. prodloužení intervalů není signifikantní) pro levou i pravou stranu. Při nevyplnění těchto kolonek je uživatel upozorněn chybovou hláškou. Lékař má také možnost zaznamenat přesné hodnoty zjištěných prodloužení v ms vyplněním příslušných kolonek, podobně, jako je tomu u parametru AAR při vyšetření VEMP.

The screenshot shows the main interface of the VestibularID application. It has a dark header with navigation buttons: 'Odhlásit se', 'Databáze', 'Import', 'Report', 'VestibularID', 'Hlavní strana', 'Výsledky testů', 'Nový test', and 'Vyhodnotit'. Below the header, there are three main panels:

- Vyšetření vHIT:** A table showing gain values for different ear positions.

	Gain	Gain	
LL	0.45	0.97	RL
LA	0.66	0.86	RA
LP	1.19	0.97	RP
- Vyšetření cVEMP a oVEMP:** A section for cVEMP and oVEMP tests. It includes sliders for cVEMP and oVEMP, and a table for AAR values.

	AAR	Strana dysfunkce:
cVEMP	12	<input type="radio"/> Pravá strana <input type="radio"/> Levá strana
oVEMP	38	<input type="radio"/> Pravá strana <input checked="" type="radio"/> Levá strana
- Vyšetření ABR:** A section for ABR tests. It includes sliders for Latence and a table for Signifikační rozdíl.

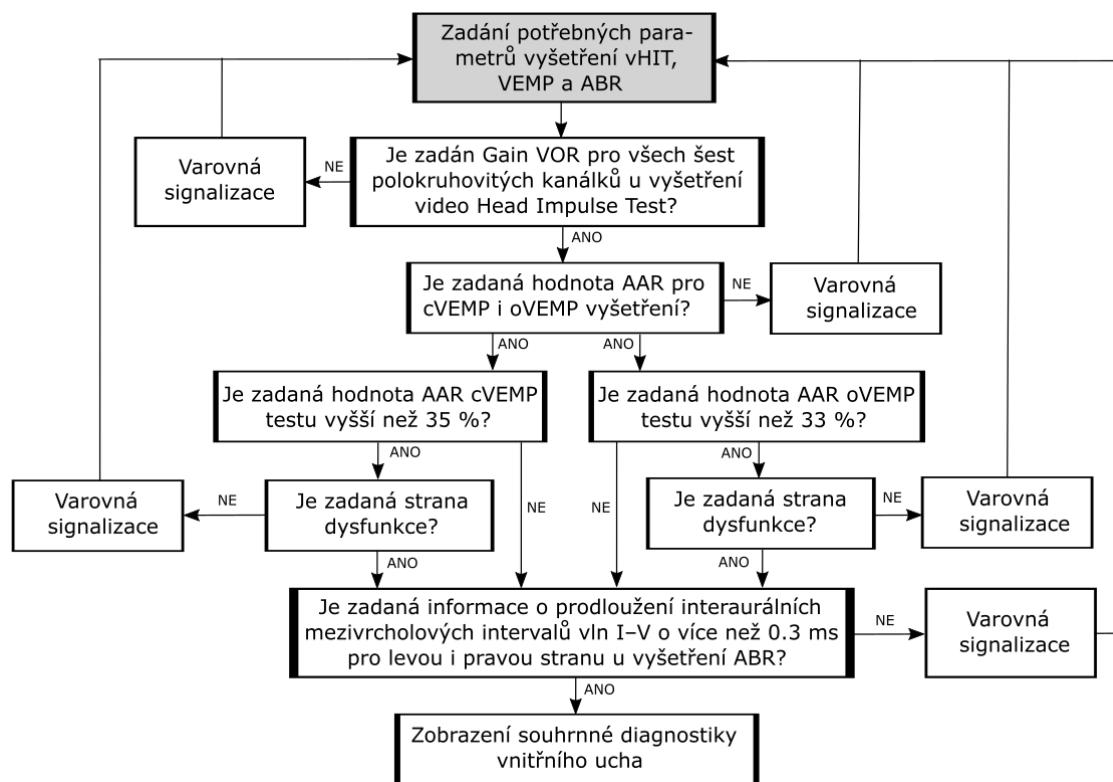
	Latence	Signifikační rozdíl:
Levá strana	0.12	<input type="radio"/> Ano <input checked="" type="radio"/> Ne
Pravá strana	0.05	<input type="radio"/> Ano <input checked="" type="radio"/> Ne

Obrázek 16: Hlavní okno aplikace VestibularID

V horní části hlavního okna se nachází ovládací panel pro vyhodnocení, výběr pacienta v databázi OTOSuite® Vestibular, načtení PDF reportu s výsledky vyšetření VEMP a ABR, spuštění nového testu, zobrazení výsledků proběhlých vyšetření, generování PDF reportu s výslednými údaji, zobrazení hlavní stránky a rovněž možnost odhlášení uživatele. Volbou tlačítka vyhodnotit dojde ke kontrole správnosti zadání všech potřebných parametrů (v případě nedostatků je uživatel upozorněn příslušnou chybovou hláškou) a je graficky znázorněn stav inervační struktury vnitřního ucha pro levou i pravou stranu, vycházející ze zadaných dat všech tří vyšetření. V případě dysfunkce je postižená oblast nervu vyznačena oranžově a orgán, vykazující deficit, červeně. Mimo zmíněnou vizualizaci je zobrazena rovněž diagnóza vestibulokochleárního nervu v textové podobě. Ta vystihuje stav inervace vnitřního ucha z hlediska strany, rozsahu a oblasti dysfunkce. Ve vybraných případech se zobrazuje také potenciální typ onemocnění, což je informace, kterou musí lékař potvrdit z jiných zdrojů, avšak která by měla urychlit jeho orientaci v navazující diagnostice. Součástí vyhodnocení je rovněž upozornění, týkající se zadaných parametrů (např. při zahrnutí podezřele vysokých hodnot gainu z vyšetření vHIT do analýzy).

Všechny proběhlé testy jsou ukládány do SQLite embedded databáze, kde je možné je kdykoliv dohledat. Vedle jména a příjmení pacienta je zobrazen rovněž identifikační údaj UID a celkový počet testů, které u daného pacienta byly provedeny. Každý zápis o testu zahrnuje všechny zaznamenané údaje. Jedná se o hodnoty gainu všech šesti polokruhovitých kanálků, AAR u cVEMP a oVEMP testu se stranou případného deficitu, a rovněž informace o výskytu

signifikantního interaurálního prodloužení mezivrcholových intervalů vln I–V (o více jak 0.3 ms). Dále je zde popis zjištěné diagnózy, případně upozornění [14, 15, 38, 41].



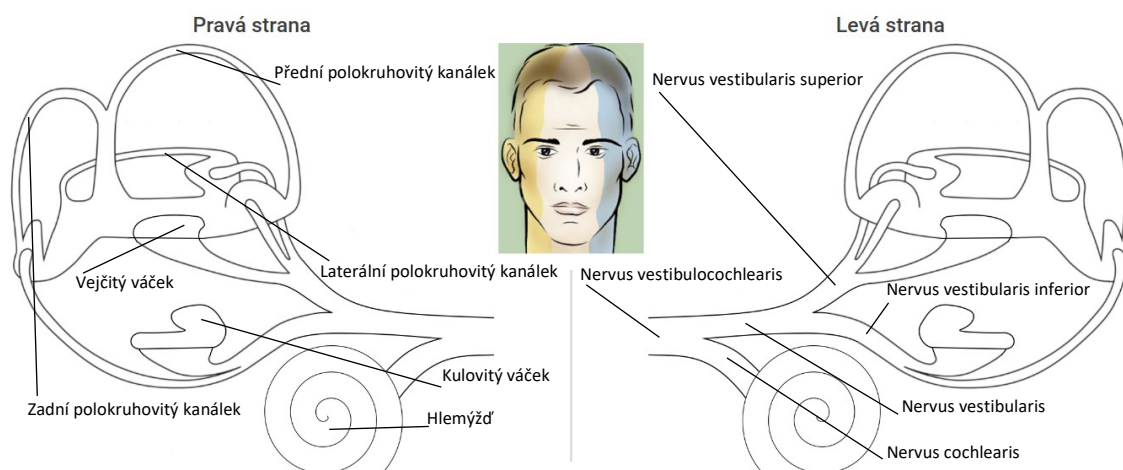
Obrázek 17: Vývojový diagram kompletního vyšetření

10.8 Algoritmus a terminologie pro interpretaci diagnózy

Diagnosticky popsané a graficky znázorněné kombinace možného výskytu dysfunkce příslušných orgánů vnitřního ucha byly konzultovány pod odborným dohledem lékařů Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy v Ostravě-Porubě a jsou založeny na základě znalosti struktury větvení vestibulokochleárního nervu (nervus vestibulokochlearis). Ten, jak už napovídá samotný název, se dělí na dva oddíly. Rovnovážný (nervus vestibularis) a sluchový (nervus cochlearis) nerv. Vestibulární nerv je složen z horní (nervus vestibularis superior) a dolní (nervus vestibularis inferior) větve. Horní větev inervuje laterální (canalis semicircularis lateralis) a přední (canalis semicircularis anterior) polokruhovitý kanálek, vejčitý váček (uriculus) a malou část kulovitého váčku (sacculus). Dolní větev inervuje zadní polokruhovitý kanálek (canalis semicircularis posterior) a převážnou část kulovitého váčku. Inervace malé části kulovitého váčku horní větví vestibulárního nervu byla poprvé popsána roku 1907 (jako tzv. Voitův nerv). Dostupné zdroje uvádějí, že se jedná o zhruba 10 % celkové inervace kulovitého váčku (o zbylých přibližně 90 % se stará dolní větev vestibulárního nervu). Nicméně stále převládá nejistota ohledně skutečného vlivu Voitova nervu na inervaci kulovitého váčku. V klinické praxi, při vyšetření jednotlivých suborgánů vnitřního ucha, se proto Voitově nervu,

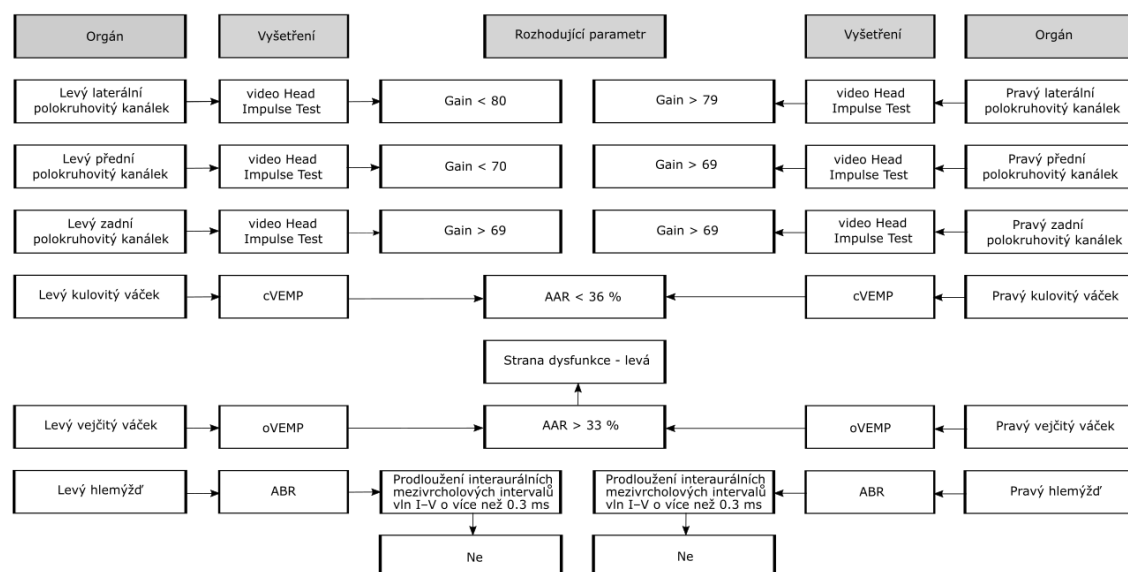
vzhledem k předpokládané malé roli, nepřisuzuje signifikantní význam. Z hlediska této práce není Voittův nerv zahrnut do grafického znázornění inervace vnitřního ucha. Stejně tak v tomto grafickém přehledu není zařazena ani anastomóza dolní větve vestibulárního nervu a sluchového nervu. Samotný sluchový nerv inervuje hlemýžď (cochlea) a spolu s provazcem rovnovážného nervu tvoří vestibulokochleární nerv.

Inervační struktura vnitřního ucha



Obrázek 18: Grafické znázornění struktury vnitřního ucha s popisem jednotlivých částí (vlevo orgány, vpravo nervy)

V případě, že je postižena pouze ohraničená část nervu, hovoříme o cirkumskriptní vestibulopatii v dané oblasti. Vzhledem k vyšetřovaným orgánům je evidentní, že se vestibulopatie může týkat inervace laterálního, předního a zadního polokruhovitého kanálku, vejčitého, kulovitého váčku a hlemýždě, případně jejich kombinace. V případě zjištěného deficitu celého nervu hovoříme o neuropatii. Neuropatií může být postižena dolní a horní větev vestibulárního nervu, vestibulární nerv jako celek, kochleární nerv nebo kompletní sluchově rovnovážný nerv. Na obr. 19 je přehledná ukázka vývojového diagramu pro diagnostiku levostranné neuropatie, týkající se horní větve vestibulárního nervu. Barevné znázornění v grafickém přehledu inervace vnitřního ucha je řešeno pomocí červené a oranžové barvy. Červená barva značí dysfunkci daného kanálku a oranžová deficit v příslušné oblasti nervu.



Obrázek 19: Ukázka vývojového diagramu pro diagnostiku levostranné neuropatie (nervus vestibularis superior)

Naprogramovaná diagnostika v textové a grafické podobě zobrazuje informaci o straně výskytu, rozsahu (zda se jedná o cirkumskriptní vestibulopatii nebo celkovou neuropatii nervu), oblasti výskytu (vzhledem k přilehlým orgánům vnitřního ucha) a latinském názvu nervu, kterého se dysfunkce týká. V tabulce č. 6 je uveden systém stanovení diagnózy v textové podobě [10, 31, 46].

Tabulka 6: Systém stanovení symptomatické diagnózy v textové podobě

Strana výskytu	Levostranná
	Pravostranná
Rozsah výskytu	Cirkumskriptní vestibulopatie
	Neuropatie
Oblast výskytu	Laterální polokruhovitý kanálek
	Přední polokruhovitý kanálek
	Zadní polokruhovitý kanálek
	Vejčitý váček
	Kulovitý váček
	Hlemýžď
Latinský název nervu	Nervus vestibulocochlearis
	Nervus cochlearis
	Nervus vestibularis
	Nervus vestibularis superior
	Nervus vestibularis inferior

11 Testování softwaru v klinické praxi

Navržený algoritmus softwaru byl ověřen na vzorku 24 náhodně vybraných probandů, kteří podstoupili vyšetření vHIT, cVEMP, oVEMP a ABR v Centru pro poruchy rovnováhy a sluchu v Ostravě-Porubě mezi roky 2014 až 2018. Testováno bylo třináct žen a jedenáct mužů ve věkovém rozmezí 22–61 let, přičemž průměrný věk pacientů činí 39.3 let, medián pak 35 let. Pro přehlednost byly vytvořeny tabulky s výsledky jednotlivých vyšetření, tabulka, vypovídající o diagnóze, jež byla stanovena softwarem VestibularID a tabulky s vyhodnocením dle orgánů, nervů, vestibulopatie, neuropatie a celkových výsledků z hlediska dysfunkce. Každá z tabulek obsahuje ID pacienta, jeho pohlaví a věk.

V tab. 7 jsou uvedeny výsledky z vyšetření vHIT, konkrétně se jedná o hodnoty průměrného gainu vestibulookulárního reflexu všech šesti polokruhovitých kanálků, navíc je zde pro úplnost uvedena rovněž asymetrie v laterální, přední (anterior) a zadní (posterior) rovině.

Tabulka 7: Výsledky vyšetření vHIT

Gain vestibulookulárního reflexu											
Pacient	Pohlaví	Věk	LL	As (%)	RL	LA	As (%)	RA	LP	As (%)	RP
1	Muž	35	0.90	7	0.97	0.95	6	0.89	0.79	6	0.84
2	Žena	28	0.96	5	1.01	0.99	14	0.85	0.95	1	0.94
3	Žena	25	0.94	0	0.94	0.77	13	0.89	0.98	4	1.02
4	Muž	34	0.88	18	1.07	0.49	42	0.85	0.94	15	0.8
5	Muž	29	0.31	68	0.96	0.56	46	1.03	1.01	19	0.82
6	Žena	37	1.57	10	1.42	0.93	7	1.00	1.39	9	1.27
7	Žena	44	1.03	31	0.71	0.95	16	1.13	0.89	8	0.82
8	Muž	41	1.02	6	1.09	0.60	17	0.72	1.06	23	0.82
9	Muž	40	0.92	51	0.45	0.73	52	0.35	0.87	39	0.53
10	Žena	22	0.96	1	0.97	0.99	18	1.20	1.02	14	0.88
11	Žena	61	0.94	3	0.97	0.89	35	0.58	0.88	50	0.44
12	Žena	55	0.99	14	1.15	0.64	28	0.89	0.95	1	0.94
13	Muž	54	0.69	27	0.94	0.62	35	0.96	0.67	13	0.77
14	Muž	31	0.99	6	0.93	0.98	10	0.88	0.93	9	0.85
15	Žena	35	0.98	56	0.43	0.96	59	0.39	1.08	19	0.87
16	Muž	58	1.01	16	0.85	0.98	7	1.05	1.02	30	0.71
17	Žena	29	1.02	25	0.77	0.91	42	0.53	0.86	29	0.61
18	Muž	27	0.29	66	0.85	0.98	1	0.99	1.07	23	0.82
19	Žena	30	0.84	7	0.90	0.95	4	0.91	0.77	57	0.33
20	Žena	59	1.06	5	1.12	0.75	23	0.97	0.79	25	1.06
21	Muž	42	1.14	12	1.30	1.01	10	0.91	1.03	6	1.10
22	Žena	33	0.81	42	0.47	0.94	40	0.56	0.85	1	0.86
23	Muž	25	1.02	6	0.96	1.23	14	1.06	1.10	7	1.18
24	Žena	45	0.45	54	0.97	0.66	23	0.86	1.19	18	0.97

As – Asymetrie, *LL* – Left Lateral, *RL* – Right Lateral, *LA* – Left Anterior, *RA* – Right Anterior, *LP* – Left Posterior, *RP* – Right Posterior

Tab. 8 je rozdělena na výsledky z vyšetření cVEMP a oVEMP. Zahrnuje hodnoty naměřených amplitud vln levé a pravé strany a vzájemnou amplitudovou asymetrii (AAR). Parametry limitní asymetrie pro určení strany dysfunkce jsou uvedeny v kapitole 5.

Tabulka 8: Výsledky vyšetření VEMP

Pacient	Pohlaví	Věk	cVEMP			oVEMP		
			L Amp (μV)	AAR (%)	P Amp (μV)	L Amp (μV)	AAR (%)	P Amp (μV)
1	Muž	35	212	7	227	1.95	23	1.21
2	Žena	28	70.75	1	69.11	1.01	5	0.92
3	Žena	25	108.51	11	87.56	1.60	25	2.67
4	Muž	34	39.49	10	44.89	1.33	58	0.35
5	Muž	29	51.23	17	72.25	1.52	14	2.02
6	Žena	37	69.68	5	63.12	2.09	11	1.68
7	Žena	44	102.02	2	98.46	1.45	13	1.87
8	Muž	41	55.99	17	39.87	0.98	16	1.35
9	Muž	40	68.19	11	85.33	1.12	24	1.84
10	Žena	22	49.00	12	62.63	1.26	5	1.39
11	Žena	61	93.51	40	40.22	1.40	38	0.63
12	Žena	55	78.77	9	65.39	0.71	43	1.76
13	Muž	54	32.80	45	86.34	1.02	38	2.27
14	Muž	31	80.09	10	98.75	1.85	2	1.76
15	Žena	35	87.11	24	53.95	1.39	54	0.42
16	Muž	58	38.56	4	42.17	1.57	9	1.89
17	Žena	29	87.46	12	68.13	2.18	26	1.28
18	Muž	27	105.17	6	92.84	0.83	40	1.93
19	Žena	30	67.14	51	21.97	1.59	2	1.53
20	Žena	59	48.88	37	105.57	1.83	4	1.97
21	Muž	42	65.47	15	48.72	1.06	23	1.68
22	Žena	33	76.26	13	98.74	1.25	16	1.74
23	Muž	25	79.39	7	92.16	0.94	18	1.36
24	Žena	45	46.56	11	58.65	1.49	14	1.98

AAR – Amplitude Asymmetry Ratio, *L Amp* – Amplituda levé strany, *P Amp* – Amplituda pravé strany

Tabulky 9 a 10 jsou věnovány výsledkům z vyšetření ABR. Došlo k rozdělení dle testované úrovně hladiny zvuku na 70 dB, respektive 80 dB. Každá z tabulek obsahuje informaci o naměřených latencích vln I a V pro levou a pravou stranu a mezivrcholový interval I–V. Dále je zde uveden rozdíl mezi mezivrcholovými intervaly I–V levé a pravé strany.

Tabulka 9: Výsledky vyšetření ABR pro hladinu zvuku 70 dB

Pacient	Pohlaví	Věk	Latence				Interval		
			L vlna I (ms)	P vlna I (ms)	L vlna V (ms)	P vlna V (ms)	L Int (ms)	Rozdíl (ms)	P Int (ms)
1	Muž	35	2.03	1.78	6.10	5.98	4.07	0.13	4.20
2	Žena	28	1.81	1.94	5.65	6.03	3.84	0.25	4.09
3	Žena	25	1.82	1.84	5.72	5.98	3.90	0.24	4.14
4	Muž	34	1.67	1.61	5.84	6.07	4.17	0.29	4.46
5	Muž	29	1.78	1.72	5.99	6.15	4.21	0.22	4.43
6	Žena	37	1.97	1.78	5.77	5.83	3.80	0.25	4.05
7	Žena	44	1.74	1.77	5.85	6.14	4.11	0.26	4.37
8	Muž	41	1.89	1.89	5.85	6.28	3.96	0.43	4.39
9	Muž	40	1.85	1.83	5.99	6.23	4.14	0.26	4.40
10	Žena	22	1.95	1.80	6.03	6.17	4.08	0.29	4.37
11	Žena	61	1.83	1.70	5.87	5.87	4.04	0.13	4.17
12	Žena	55	1.89	1.98	5.69	6.02	3.80	0.24	4.04
13	Muž	54	1.83	1.95	6.22	5.97	4.39	0.37	4.02
14	Muž	31	1.91	1.66	5.82	6.23	3.91	0.66	4.57
15	Žena	35	1.71	1.78	5.82	5.95	4.11	0.06	4.17
16	Muž	58	1.72	1.75	5.95	5.87	4.23	0.11	4.12
17	Žena	29	1.85	1.71	5.98	6.10	4.13	0.26	4.39
18	Muž	27	1.75	1.73	6.02	6.22	4.27	0.22	4.49
19	Žena	30	1.85	1.89	6.27	6.27	4.42	0.04	4.38
20	Žena	59	2.05	1.93	6.04	6.25	3.99	0.33	4.32
21	Muž	42	1.84	1.92	6.15	6.14	4.31	0.09	4.22
22	Žena	33	1.90	1.98	6.15	6.12	4.25	0.11	4.14
23	Muž	25	1.70	1.89	6.29	6.31	4.59	0.17	4.42
24	Žena	45	1.88	1.73	5.98	5.99	4.10	0.16	4.26

L vlna I – Latence vlny I (levá strana), *P vlna I* – Latence vlny I (pravá strana), *L vlna V* – Latence vlny V (levá strana), *P vlna V* – Latence vlny V (pravá strana), *L Int* – Mezivrcholový interval vln I–V (levá strana), *Rozdíl* – Rozdíl mezivrcholových intervalů vln I–V mezi levou a pravou stranou, *P Int* – Mezivrcholový interval vln I–V (pravá strana)

Tabulka 10: Výsledky vyšetření ABR pro hladinu zvuku 80 dB

Pacient	Pohlaví	Věk	Latence				Interval		
			L vlna I (ms)	P vlna I (ms)	L vlna V (ms)	P vlna V (ms)	L Int (ms)	Rozdíl (ms)	P Int (ms)
1	Muž	35	1.80	1.78	5.78	5.88	3.98	0.12	4.10
2	Žena	28	1.78	1.72	5.77	5.95	3.99	0.24	4.23
3	Žena	25	1.84	1.89	5.74	6.14	4.10	0.15	4.25
4	Muž	34	1.63	1.69	5.89	6.02	4.26	0.07	4.33
5	Muž	29	1.77	1.73	5.93	6.07	4.16	0.18	4.34
6	Žena	37	1.78	1.73	5.97	6.03	4.19	0.11	4.30

7	Žena	44	1.75	1.77	5.75	6.17	4.20	0.20	4.40
8	Muž	41	1.84	1.87	5.81	6.28	3.97	0.44	4.41
9	Muž	40	1.80	1.81	5.95	6.21	4.15	0.25	4.40
10	Žena	22	1.94	1.90	5.73	6.15	3.99	0.16	4.15
11	Žena	61	1.73	1.75	5.78	6.06	4.05	0.26	4.31
12	Žena	55	1.79	1.76	6.02	6.01	4.23	0.02	4.25
13	Muž	54	1.84	1.85	5.79	5.97	4.38	0.36	4.02
14	Muž	31	1.97	1.66	5.87	6.22	3.90	0.36	4.26
15	Žena	35	1.78	1.78	5.80	5.96	4.02	0.16	4.18
16	Muž	58	1.79	1.74	5.92	5.11	4.13	0.06	4.07
17	Žena	29	1.87	1.72	5.93	6.09	4.06	0.22	4.28
18	Muž	27	1.85	1.71	6.10	6.15	4.25	0.11	4.14
19	Žena	30	1.86	1.88	6.29	6.24	4.23	0.07	4.16
20	Žena	59	1.89	1.83	6.32	6.20	3.96	0.41	4.37
21	Muž	42	1.95	1.92	6.13	6.10	4.18	0.01	4.19
22	Žena	33	1.99	1.91	6.17	6.10	4.18	0.10	4.28
23	Muž	25	1.78	1.84	6.20	6.32	4.25	0.07	4.18
24	Žena	45	1.85	1.83	6.06	6.11	4.21	0.07	4.28

L vlna I – Latence vlny I (levá strana), *P vlna I* – Latence vlny I (pravá strana), *L vlna V* – Latence vlny V (levá strana), *P vlna V* – Latence vlny V (pravá strana), *L Int* – Mezi vrcholový interval vln I–V (levá strana), *Rozdíl* – Rozdíl mezi vrcholových intervalů vln I–V mezi levou a pravou stranou, *P Int* – Mezi vrcholový interval vln I–V (pravá strana)

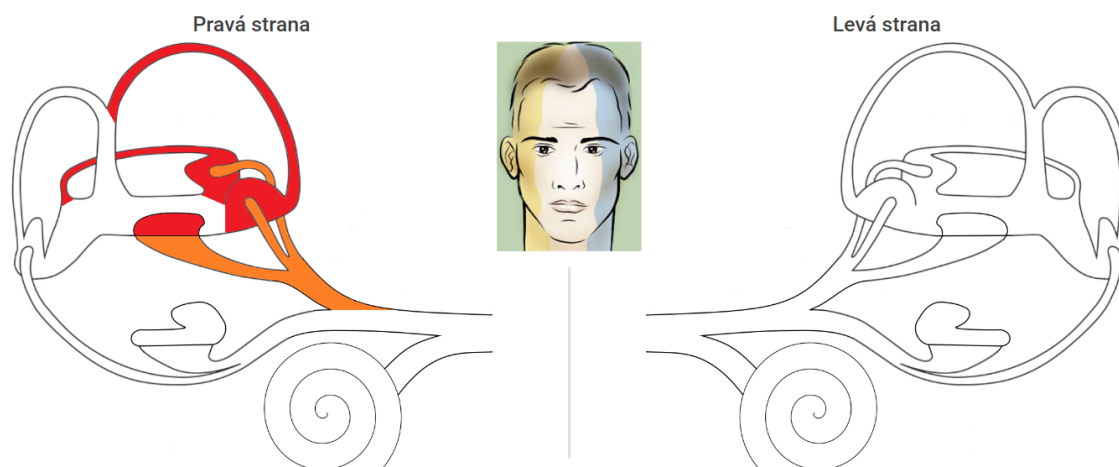
V tabulce 11 jsou uvedeny stanovené diagnózy vnitřního ucha na základě pravidel popsaných v kapitole 10.8. Obrázek 20 znázorňuje grafickou interpretaci výsledku pacienta 15 v aplikaci i s textovým popisem.

Tabulka 11: Celkové výsledky generované algoritmem softwaru VestibularID

Pacient	Pohlaví	Věk	Stanovená diagnóza
1	Muž	35	Výsledky bez náznaku dysfunkce
2	Žena	28	Výsledky bez náznaku dysfunkce
3	Žena	25	Výsledky bez náznaku dysfunkce
4	Muž	34	Levostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti předního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior a pravostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti vejčitého váčku – nervus vestibularis superior
5	Muž	29	Levostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti laterálního a předního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior
6	Žena	37	Výsledky bez náznaku dysfunkce
7	Žena	44	Pravostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti laterálního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior
8	Muž	41	Levostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti předního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior a pravostranná neuropatie v oblasti hlemýždě – nervus cochlearis
9	Muž	40	Pravostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti laterálního,

			předního a zadního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior et inferior
10	Žena	22	Výsledky bez náznaku dysfunkce
11	Žena	61	Pravostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti předního polokruhovitého kanálku a vejčitého váčku a neuropatie v oblasti zadního polokruhovitého kanálku a kulovitého váčku – nervus vestibularis superior et inferior
12	Žena	55	Levostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti předního polokruhovitého kanálku a vejčitého váčku – nervus vestibularis superior
13	Muž	54	Levostranná neuropatie v oblasti laterálního, předního a zadního polokruhovitého kanálku, vejčitého a kulovitého váčku a hlemýždě – nervus vestibulocochlearis
14	Muž	31	Pravostranná neuropatie v oblasti hlemýždě – nervus cochlearis
15	Žena	35	Pravostranná neuropatie v oblasti laterálního a předního polokruhovitého kanálku a vejčitého váčku – nervus vestibularis superior
16	Muž	58	Výsledky bez náznaku dysfunkce
17	Žena	29	Pravostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti laterálního, předního a zadního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior et inferior
18	Muž	27	Levostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti laterálního polokruhovitého kanálku a vejčitého váčku – nervus vestibularis superior
19	Žena	30	Pravostranná neuropatie v oblasti zadního polokruhovitého kanálku a kulovitého váčku – nervus vestibularis inferior
20	Žena	59	Levostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti kulovitého váčku – nervus vestibularis inferior a pravostranná neuropatie v oblasti hlemýždě – nervus cochlearis
21	Muž	42	Výsledky bez náznaku dysfunkce
22	Žena	33	Pravostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti laterálního a předního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior
23	Muž	25	Výsledky bez náznaku dysfunkce
24	Žena	45	Levostranná cirkumskriptní vestibulopatie v oblasti laterálního a předního polokruhovitého kanálku – nervus vestibularis superior

Inervační struktura vnitřního ucha



Stanovená diagnóza vnitřního ucha

Pravostranná neuropatie v oblasti laterálního a předního polokruhovitého kanálku a vejčitého váčku – nervus vestibularis superior

Obrázek 20: Interpretace výsledku pacienta 15 v aplikaci

Tabulka 12 interpretuje celkový souhrn výskytu dysfunkce orgánů a jejich inervace. Procentuální vyjádření výsledku je vždy vztaženo vůči celkovému počtu testovaných probandů, v tomto případě 24. Z tabulky je mimo jiné patrné, že z pacientů, u nichž byla diagnostikována dysfunkce, vykazuje 81 % probandů jednostrannou poruchu. Oboustranným deficitem trpí 19 % vyšetřovaných.

Tabulka 12: Celkové vyhodnocení

	Počet pacientů	ID pacienta	%
Bez dysfunkce	8	1,2,3,6,10,16,21,23	33
S dysfunkcí	16	4,5,7,8,9,11,12,13,14,15,17,18,19,20,22,24	67
Levá strana s dysfunkcí	5	5,12,13,18,24	21
Pravá strana s dysfunkcí	8	7,9,11,14,15,17,19,22	33
Jednostranná dysfunkce	13	5,7,9,11,12,13,14,15,17,18,19,22,24	54
Oboustranná dysfunkce	3	4,8,20	13

V tabulce 13 jsou uvedeny dysfunkce z hlediska všech testovaných orgánů. U skupiny testovaných pacientů byl nejčastěji vyhodnocen jako dysfunkční přední polokruhovitý kanálek (ve 46 % případů z 24 testovaných probandů).

Tabulka 13: Dysfunkce dle orgánů

	Počet pacientů	ID pacienta	%
C LPK	9	5,7,9,13,15,17,18,22,24	38
L LPK	4	5,13,18,24	17
P LPK	5	7,9,15,17,22	21
C PPK	11	4,5,8,9,11,12,13,15,17,22,24	46
L PPK	6	4,5,8,12,13,24	25
P PPK	5	9,11,15,17,22	21
C ZPK	5	9,11,13,17,19	21
L ZPK	1	13	4
P ZPK	4	9,11,17,19	17
C VV	6	4,11,12,13,15,18	25
L VV	3	12,13,18	13
P VV	3	4,11,15	13
C KV	4	11,13,19,20	17
L KV	2	13,20	8
P KV	2	11,19	8
C H	4	8,13,14,20	17
L H	1	13	4
P H	3	8,14,20	13

C LPK – laterální polokruhovitě kanálky celkem, *L LPK* – levý laterální polokruhovitý kanálek, *P LPK* – pravý laterální polokruhovitý kanálek, *C PPK* – přední polokruhovitě kanálky celkem, *L PPK* – levý přední polokruhovitý kanálek, *P PPK* – pravý přední polokruhovitý kanálek, *C ZPK* – zadní polokruhovitě kanálky celkem, *L ZPK* – levý zadní polokruhovitý kanálek, *P ZPK* – Pravý zadní polokruhovitý kanálek, *C VV* – vejčité váčky celkem, *L VV* – levý vejčitý váček, *P VV* – pravý vejčitý váček, *C KV* – kulovité váčky celkem, *L KV* – levý kulovitý váček, *P KV* – pravý kulovitý váček, *C H* – hlemýžď celkem, *L H* – levý hlemýžď, *P H* – pravý hlemýžď

Tabulka 14 slouží k interpretaci dysfunkce z hlediska inervační struktury vnitřního ucha. Výsledky znázorňují nervy, kterých se deficit týká, a to až už pouze jeho části či celku. U testovaných 24 pacientů byla nejčastěji diagnostikována dysfunkce horního vestibulárního nervu (*nervus vestibularis superior*). Vyskytla se u 46 % probandů.

Tabulka 14: Dysfunkce dle nervů

	Počet pacientů	ID pacienta	%
C NVC	1	13	4
L NVC	1	13	4
P NVC	0	-	0
C NC	4	8,13,14,20	17
L NC	1	13	4
P NC	3	8,14,20	13

C NV	0	-	0
L NV	0	-	0
P NV	0	-	0
NVS	11	4,5,7,8,9,11,12,17,18,22,24	46
L NVS	6	4,5,8,12,18,24	25
P NVS	6	4,7,9,11,17,22	25
C NVI	5	9,11,17,19,20	21
L NVI	1	20	4
P NVI	4	9,11,17,19	17

C NVC – Nervus vestibulocochlearis celkem, *L NVC* – nervus vestibulocochlearis levá strana, *P NVC* – nervus vestibulocochlearis pravá strana, *C NC* – nervus cochlearis, *L NC* – nervus cochlearis levá strana, *P NC* – nervus cochlearis pravá strana, *C NV* – nervus vestibularis celkem, *L NV* – nervus vestibularis levá strana, *P NV* – nervus vestibularis pravá strana, *C NVS* – nervus vestibularis superior, *L NVS* – nervus vestibularis superior levá strana, *P NVS* – nervus vestibularis superior pravá strana, *C NVI* – nervus vestibularis inferior celkem, *L NVI* – nervus vestibularis inferior levá strana, *P NVI* – nervus vestibularis inferior pravá strana

V tabulce 15 se nachází přehled výskytu cirkumskriptní vestibulopatie vztaženou k jednotlivým orgánům vnitřního ucha.

Tabulka 15: Vestibulopatie

	Počet pacientů	ID pacienta	%
Celkem	13	4,5,7,8,9,11,12,14,17,18,20,22,24	54
Levá strana	7	4,5,8,12,18,20,24	29
Pravá strana	9	4,7,8,9,11,14,17,20,22	38
C LPK	7	5,7,9,17,18,22,24	29
L LPK	3	5,18,24	13
P LPK	4	7,9,17,22	17
C PPK	9	4,5,8,9,11,12,17,22,24	38
L PPK	5	4,5,8,12,24	21
P PPK	4	9,11,17,22	17
C ZPK	2	9,17	8
L ZPK	0	-	0
P ZPK	2	9,17	8
C VV	4	4,11,12,18	17
L VV	2	12,18	8
P VV	2	4,11	8
C KV	1	20	4
L KV	1	20	4
P KV	0	-	0

C LPK – laterální polokruhové kanálky celkem, *L LPK* – levý laterální polokruhovitý kanálek, *P LPK* – pravý laterální polokruhovitý kanálek, *C PPK* – přední polokruhové kanálky celkem,

L PPK – levý přední polokruhovitý kanálek, *P PPK* – pravý přední polokruhovitý kanálek, *C ZPK* – zadní polokruhovité kanálky celkem, *L ZPK* – levý zadní polokruhovitý kanálek, *P ZPK* – Pravý zadní polokruhovitý kanálek, *C VV* – vejčité váčky celkem, *L VV* – levý vejčitý váček, *P VV* – pravý vejčitý váček, *C KV* – kulovité váčky celkem, *L KV* – levý kulovitý váček, *P KV* – pravý kulovitý váček

V tabulce 16 je přehled neuropatií vztažený k inervaci pravého a levého vnitřního ucha. Z celkového počtu 7 diagnostikovaných neuropatií se jednalo pouze v jednom případě o levou stranu (14 %) a hned v šesti případech o pravou stranu (86 %).

Tabulka 16: Neuropatie

	Počet pacientů	ID pacienta	%
Celkem	7	8,11,13,14,15,19,20	29
Levá strana	1	13	4
Pravá strana	6	8,11,14,15,19,20	25
C NVC	1	13	4
L NVC	1	13	4
P NVC	0	-	0
C NC	3	8,14,20	13
L NC	0	-	0
P NC	3	8,14,20	13
C NV	0	-	0
L NV	0	-	0
P NV	0	-	0
C NVS	1	15	4
L NVS	0	-	0
P NVS	1	15	4
C NVI	2	11,19	8
L NVI	0	-	0
P NVI	2	11,19	8

C NVC – Nervus vestibulocochlearis celkem, *L NVC* – nervus vestibulocochlearis levá strana, *P NVC* – nervus vestibulocochlearis pravá strana, *C NC* – nervus cochlearis, *L NC* – nervus cochlearis levá strana, *P NC* – nervus cochlearis pravá strana, *C NV* – nervus vestibularis celkem, *L NV* – nervus vestibularis levá strana, *P NV* – nervus vestibularis pravá strana, *C NVS* – nervus vestibularis superior, *L NVS* – nervus vestibularis superior levá strana, *P NVS* – nervus vestibularis superior pravá strana, *C NVI* – nervus vestibularis inferior celkem, *L NVI* – nervus vestibularis inferior levá strana, *P NVI* – nervus vestibularis inferior pravá strana

12 Závěr

Vzhledem k novým možnostem, které s sebou inovativní metody vHIT, VEMP a ABR přináší, lze objektivně posoudit funkci všech orgánů sluchově rovnovážného ústrojí. K tomu, aby bylo možno nahlížet na inervaci vnitřního ucha jako celek, je nutné sloučit výsledky z jednotlivých, samostatně působících, diagnostických nástrojů a vytvořit algoritmus, schopný přesného vyhodnocení stavu vestibulokochleárního nervu z dostupných informací. Kromě zmíněného sloučení tří testů vnitřního ucha bylo cílem diplomové práce vytvoření systému odborné lékařské terminologie k interpretaci diagnóz vnitřního ucha na základě klinicky možných kombinací výsledků těchto tří vyšetření.

Jednotlivé kombinace možného výskytu dysfunkcí příslušných částí vestibulokochleárního nervu byly konzultovány pod odborným dohledem lékařů Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy v Ostravě-Porubě. Cílem softwaru je podat lékaři ucelený pohled na funkci nervového systému vnitřního ucha a jednotlivých suborgánů, samotná etiologická diagnóza je plně v kompetenci lékaře, jelikož odborný lidský faktor je pro správnou diagnostiku nezbytný. Originálnost práce spočívá v tom, že žádný podobný pokus o softwarové propojení vHIT, VEMP a ABR testu, generující diagnózu a mapující stav nervové struktury vnitřního ucha nebyl dosud v dostupné literatuře zaznamenán.

Součástí diplomové práce je ověření algoritmu navrženého softwaru u vzorku 24 probandů. Měření probíhalo v Centru pro poruchy sluchu a rovnováhy v Ostravě-Porubě pomocí přístrojů ICS Impulse® (vyšetření vHIT) a ICS Chartr® EP 200 (vyšetření VEMP a ABR). Výsledky obou vyšetření, zpracované technikou společnosti GN Otometrics®, jsou zveřejněny v přehledných tabulkách, a je k nim doplněna výsledná analýza testu ze softwaru VestibularID.

V softwaru byl použit relační databázový systém SQLite, který byl zvolen jako optimální varianta k propojení softwaru VestibularID s databází OTSuite Vestibular®, zahrnující veškerá data z vyšetření vHIT. Je vhodný i s ohledem na předpokládané využití na pouze jednom počítači pracoviště. Nespornou výhodou SQLite jsou malé nároky na úložný prostor ordinace, kdy je embedded databáze ukládána v souboru na disku, a je tudíž možné ji snadno zálohovat. Dále pak absence požadavku na jakoukoliv konfiguraci. Licence relačního databázového systému SQLite je dostupná jako tzv. public domain.

Navržená softwarová aplikace se jeví jako velmi přínosné řešení pro určení deficitu sluchově rovnovážného nervu, který je na každé straně zodpovědný za inervaci šesti suborgánů vnitřního ucha. Software slouží jako efektivní nástroj pro rychlé, přesné a objektivní určení diagnózy, k čemuž rovněž přispívá grafické znázornění postižené oblasti nervu, což vede k výraznému usnadnění a zpřehlednění celého procesu vyšetření a následně stanovené rehabilitace. V případě potřeby nalezne lékař všechny důležité podklady v jedné databázi. Snadné dohledání a porovnání provedených vyšetření vnitřního ucha je podstatným přínosem také z hlediska optimalizace nastaveného léčebného procesu. Všechny tyto informace by měly lékaři usnadnit diagnostiku velkého množství vestibulárních a sluchových poruch a pomoci s odlišením periferní a centrální povahy onemocnění. Software VestibularID nalezne uplatnění ve všech specializovaných centrech pro poruchy sluchu a rovnováhy, využívající k vyšetření metodami vHIT, VEMP a ABR přístrojové vybavení společnosti GN Otometrics®.

Tato publikace navazuje na bakalářskou práci, jež byla zaměřena na analýzu výsledků z vyšetření video Head Impulse Test. Z hlediska dalšího rozvoje práce se nabízí tvorba expertního systému, který by aplikoval stávající propojení tří nezávislých vyšetření sluchově rovnovážného nervu, implementoval informace z ostatních zdrojů (vnější symptomy pacienta, další související vyšetření atd.) a umožnil by navazující analýzu, především z hlediska určení konkrétního typu onemocnění rovnovážného a sluchového aparátu, čímž by vznikl komplexní systém zaměřený na oblast vnitřního ucha.

13 Reference

- [1] FDA Clears GN Otometrics' ICS Impulse for Video Head Impulse Testing. *Hearing Review* [online]. [cit. 2017-11-17].
- [2] New Tests for Diagnosis of Peripheral Vestibular Disorders. *Illinois Academy of Audiology: The Voice of Audiology in Illinois* [online]. [cit. 2017-08-18].
- [3] FRANEC, Daniel. Laboratorní úloha měření vHIT. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce MUDr. Eva Mrázková, Ph.D.
- [4] Interpretation Guide: A guide to reducing artifacts and collecting quality data. *ICS Impulse Video Head Impulse Testing* [online]. 2015 [cit. 2017-08-14].
- [5] ICS Impulse USB: Návod na použití. *Otometrics* [online]. 2015 [cit. 2017-10-22].
- [6] WALTHER, L.E., K. HÖRMANN, M. BLOCHING a A. BLÖDOW. Rezeptorfunktion der Bogengänge: Teil 1: Anatomie, Physiologie, Diagnostik und Normalbefunde. *HNO* [online]. 2012, **60**(1): 75-88 [cit. 2017-08-12]. DOI: 10.1007/s00106-011-2434-5.
- [7] WALTHER, Leif Erik, Renate DÜRL, Ralf HELBIG a Alexander BLÖDOW. Der Kopffimpulstest: Per Video zu genaueren Ergebnissen. *HNO Nachrichten* [online]. HNO Nachrichten, 2012, **42**(1): 35-39 [cit. 2017-08-10].
- [8] ICS Impulse USB: Reference Manual. *Otometrics* [online]. 2015 [cit. 2017-09-27].
- [9] ICS Impulse – Revolutionizing Vestibular Assessment. *Audiology Online: CEUs, Jobs and Journal for the Audiology Profession* [online]. 2013 [cit. 2018-02-21].
- [10] LABROUSSE, M., J. CUCHEROUSSET, Cl. AVISSE, J.-F. DELATTRE a A. CHAYS. Etude anatomo-histologique de l'anastomose vestibulo-cochléaire de Von Oort. *Annales d'Otolaryngologie et de Chirurgie Cervico-faciale* [online]. 2004, **121**(4), 205-212 [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.1016/S0003-438X(04)95510-7. ISSN 0003438X.
- [11] PŘÍHODA, Jaromír. *EVOKOVANÉ POTENCIÁLY jako diagnostický nástroj* [online]. [cit. 2017-11-17].
- [12] Vyšetření evokovaných potenciálů. *Dětská otolaryngologie* [online]. [cit. 2017-11-15].
- [13] CRAIG, Jill. Vestibular Evoked Myogenic Potentials (VEMP): How do I get started? *AudiologyOnline* [online]. [cit. 2017-11-15].
- [14] KANTNER, Claudia a Robert GÜRKOV. The Effects of Commonly Used Upward Gaze Angles on Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potentials. *Otology & Neurotology* [online]. 2014, **35**(2), 289-293 [cit. 2017-10-17]. DOI: 10.1097/MAO.0b013e318299a812. ISSN 1531-7129.
- [15] YOUNG, Yi-Ho, Chen-Chi WU a Chih-Hsiu WU. Augmentation of Vestibular Evoked Myogenic Potentials: An Indication for Distended Saccular Hydrops. *The Laryngoscope* [online]. 2002, **112**(3), 509-512 [cit. 2017-10-16]. DOI: 10.1097/00005537-200203000-00019. ISSN 0023-852x.

- [16] Kmenové sluchové evokované potenciály (BAEP). *Dětská neurologie* [online]. [cit. 2017-11-10].
- [17] JEWETT, DON L. a JOHN S. WILLISTON. Auditory-evoked far fields averaged from the scalp of humans. *Brain*, 1971, **94**(4), 681-696.
- [18] ICS CHARTR EP 200. *AudioNIKA: Služby pro sluchově postižené* [online]. [cit. 2017-11-11].
- [19] Auditory Evoked Potentials - Easy to Operate - ICS Chartr EP 200. *Otometrics - Audiology Industry Leader for More Than 50 Years* [online]. [cit. 2017-11-17].
- [20] Auditory Evoked Potential System: User Manual. *Otometrics* [online]. 2017 [cit. 2017-10-10].
- [21] HALMAGYI, G. M., Luke CHEN, Hamish G. MACDOUGALL, Konrad P. WEBER, Leigh A. MCGARVIE a Ian S. CURTHOYS. The Video Head Impulse Test. *Frontiers in Neurology* [online]. 2017, **8**, - [cit. 2017-11-17]. DOI: 10.3389/fneur.2017.00258. ISSN 1664-2295.
- [22] MAGLIULO, Giuseppe, Giannicola IANNELLA, Silvia GAGLIARDI a Massimo RE. A 1-year follow-up study with C-VEMPs, O-VEMPs and video head impulse testing in vestibular neuritis. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* [online]. 2015, **272**(11), 3277-3281 [cit. 2018-02-13]. DOI: 10.1007/s00405-014-3404-9. ISSN 0937-4477.
- [23] SKORIĆ, Magdalena Krbot, Ivan ADAMEC, Tin PAVIČIĆ, Ivan PAVLOVIĆ, Berislav RUŠKA, Luka CRNOŠIJA a Mario HABEK. Vestibular evoked myogenic potentials and video head impulse test in patients with vertigo, dizziness and imbalance. *Journal of Clinical Neuroscience* [online]. 2017, **39**, 216-220 [cit. 2018-02-13]. DOI: 10.1016/j.jocn.2017.02.009. ISSN 09675868.
- [24] WALTHER, Leif Erik a Alexander BLÖDOW. Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potential to Air Conducted Sound Stimulation and Video Head Impulse Test in Acute Vestibular Neuritis. *Otology & Neurotology* [online]. 2013, **34**(6), 1084-1089 [cit. 2018-02-11]. DOI: 10.1097/MAO.0b013e318280da47. ISSN 1531-7129.
- [25] SHALASH, Ali Soliman, Dalia Mohamed HASSAN, Hanan Hani ELRASSAS, Mohamed Mosaad SALAMA, Edna MÉNDEZ-HERNÁNDEZ, José M. SALAS-PACHECO a Oscar ARIAS-CARRIÓN. Auditory- and Vestibular-Evoked Potentials Correlate with Motor and Non-Motor Features of Parkinson's Disease. *Frontiers in Neurology* [online]. 2017, **8**, - [cit. 2018-02-10]. DOI: 10.3389/fneur.2017.00055. ISSN 1664-2295.
- [26] ULMER, E. a A. CHAYS. « Head impulse test de curthoys & halmagyi ». *Annales d'Otolaryngologie et de Chirurgie Cervico-faciale* [online]. 2005, **122**(2), 84-90 [cit. 2018-02-15]. DOI: 10.1016/S0003-438X(05)82329-1. ISSN 0003438x. device. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac 122(2):84-90
- [27] MACDOUGALL, H. G., K. P. WEBER, L. A. MCGARVIE, G. M. HALMAGYI a I. S. CURTHOYS. The video head impulse test: Diagnostic accuracy in peripheral vestibulopathy. *Neurology* [online]. 2009, **73**(14), 1134-1141 [cit. 2018-02-19]. DOI: 10.1212/WNL.0b013e3181bacf85. ISSN 0028-3878.

- [28] ALHABIB, Salman F a Issam SALIBA. Video head impulse test: a review of the literature. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* [online]. 2017, **274**(3), 1215-1222 [cit. 2018-02-14]. DOI: 10.1007/s00405-016-4157-4. ISSN 0937-4477.
- [29] CURTHOYS, Ian S. The interpretation of clinical tests of peripheral vestibular function. *The Laryngoscope* [online]. 2012, **122**(6), 1342-1352 [cit. 2018-02-10]. DOI: 10.1002/lary.23258. ISSN 0023852x.
- [30] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
- [31] CURTHOYS, Ian S, Vedran VULOVIC, Ann M BURGESS, et al. Neural basis of new clinical vestibular tests: otolithic neural responses to sound and vibration. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* [online]. 2014, **41**(5), 371-380 [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1111/1440-1681.12222. ISSN 03051870.
- [32] COLEBATCH, J. G. a G. M. HALMAGYI. Vestibular evoked potentials in human neck muscles before and after unilateral vestibular deafferentation. *Neurology* [online]. 1992, **42**(8), 1635-1635 [cit. 2018-02-17]. DOI: 10.1212/WNL.42.8.1635. ISSN 0028-3878.
- [33] COLEBATCH, J G, G M HALMAGYI a N F SKUSE. Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* [online]. 1994, **57**(2), 190-197 [cit. 2018-02-02]. DOI: 10.1136/jnnp.57.2.190. ISSN 0022-3050.
- [34] CHIHARA, Yasuhiro, Shinichi IWASAKI, Munetaka USHIO a Toshihisa MUROFUSHI. Vestibular-evoked extraocular potentials by air-conducted sound: Another clinical test for vestibular function. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2007, **118**(12), 2745-2751 [cit. 2018-02-15]. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.08.005. ISSN 13882457.
- [35] WALTHER, Leif. Moderne Schwindeldiagnostik. *Laryngo-Rhino-Otologie* [online]. 2017, **96**(S 01), S183-S208 [cit. 2018-02-18]. DOI: 10.1055/s-0042-118763. ISSN 0935-8943.
- [36] SMITH, Joanna T. a Jace WOLFE. Using Contemporary ABR Protocols to Get Accurate Results. *The Hearing Journal* [online]. 2014, **67**(5), 36- [cit. 2018-02-14]. DOI: 10.1097/01.HJ.0000449904.87362.60. ISSN 0745-7472.
- [37] KABÁTOVÁ, Zuzana a MILAN PROFANT A KOLEKTÍV. *Audiológia*. Praha: Bratislava, 2012. ISBN 8024741733.
- [38] LEE, Seung-Han, Sang-Hoon KIM, Sung-Sik KIM, Kyung Wook KANG a Alexander Andrea TARNUTZER. Preferential Impairment of the Contralesional Posterior Semicircular Canal in Internuclear Ophthalmoplegia. *Frontiers in Neurology* [online]. 2017, **8**, - [cit. 2018-02-14].
- [39] FIALA, Pavel, Jiří VALENTA a Lada EBERLOVÁ. *Stručná anatomie člověka*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 978-80-246-2693-2.
- [40] GRIM, Miloš, Ondřej NAŇKA a Ivan HELEKAL. *Atlas anatomie člověka*. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-80-247-4156-7.
- [41] MARTINS, Denise Miranda Terra, Cristiane Fregonesi Dutra GARCIA, Heidi Elisabeth BAECK a Silvana FROTA. Potenciais evocados auditivos de tronco encefálico em fumantes.

Revista CEFAC [online]. 2016, **18**(1), 47-54 [cit. 2018-02-05]. DOI: 10.1590/1982-0216201618113915. ISSN 1516-1846.

[42] JECHA, Tomáš. Úvod do Windows Presentation Foundation (WPF). *DotNETportal.cz: Největší český web zaměřený na .NET framework* [online]. 19. 1. 2012 [cit. 2018-02-25].

[43] MACDONALD, Matthew. *Pro WPF 4.5 in C#: Windows Presentation Foundation with .NET 4.5*. Fourth edition. Berkeley: Apress, 2012. ISBN 143024366x.

[44] JECHA, Tomáš. Jazyk XAML. *DotNETportal.cz: Největší český web zaměřený na .NET framework* [online]. 2. 2. 2012 [cit. 2018-02-25].

[45] UJBÁNYAI, Miroslav. *Programujeme pro Android*. Praha: Grada, 2012. Průvodce (Grada). ISBN 978-80-247-3995-3.

[46] HERDMAN, Susan. a Richard A. CLENDANIEL. *Vestibular rehabilitation*. Fourth Edition. Philadelphia: F. A. Davis Company, 2014. ISBN 0803639708.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha č. 1: Příloha na CD

Příloha č. 1: Příloha na CD

Příložené CD obsahuje zdrojový kód aplikace VestibularID.